



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

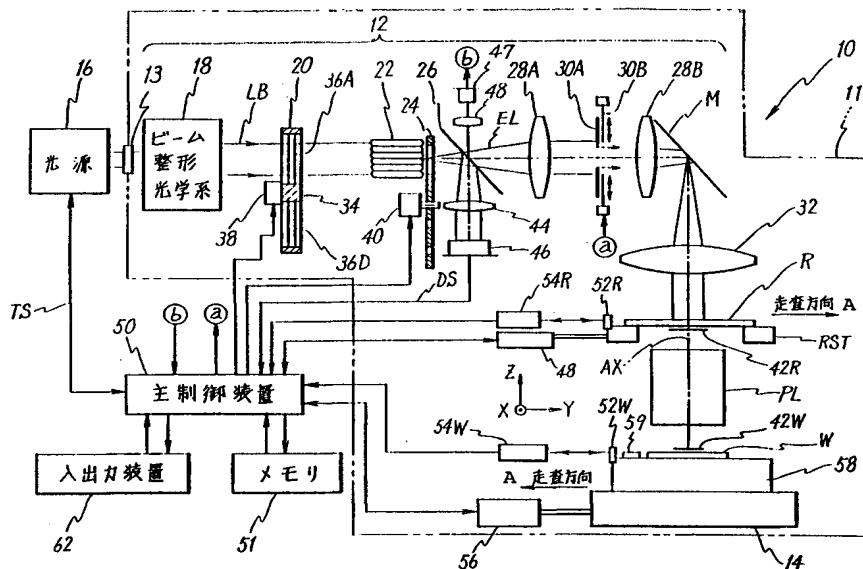
(51) 国際特許分類6 H01L 21/027, G03F 7/20	A1	(11) 国際公開番号 WO99/52130 (43) 国際公開日 1999年10月14日(14.10.99)
(21) 国際出願番号 PCT/JP99/01802 (22) 国際出願日 1999年4月6日(06.04.99) (30) 優先権データ 特願平10/111406 1998年4月7日(07.04.98) JP 特願平10/125272 1998年4月20日(20.04.98) JP (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP) (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 堀越崇広(HORIKOSHI, Takahiro)[JP/JP] 菊地貴久(KIKUCHI, Takahisa)[JP/JP] 根井正洋(NEI, Masahiro)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP) (74) 代理人 立石篤司, 外(TATEISHI, Atsuji et al.) 〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号 パセオビル5階 Tokyo, (JP)		(81) 指定国 AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, SL, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ZA, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), ユーラシア 特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM) 添付公開書類 国際調査報告書

(54)Title: EXPOSURE METHOD, EXPOSURE APPARATUS, METHOD OF PRODUCING THE SAME, DEVICE, AND METHOD OF FABRICATING THE SAME

(54)発明の名称 露光方法、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス及びその製造方法

(57) Abstract

A main controller (50) determines an exposure control desired value according to the transmittance of an optical system (28A, 28B, 32, PL) measured by means of a sensor (59) before the exposure or estimated by predetermined calculation and controls the exposure according to the determined exposure control desired value while a reticle pattern is being transferred onto a wafer (W) through the optical system. Since the exposure energy given to the image surface in a unit time over unit area changes with the transmittance of the optical system, the exposure control desired value is determined according to the transmittance of the optical system, and the exposure is controlled according to the determined control desired value. Therefore, high-precision exposure is achieved without being influenced by the variation of the transmittance.



16 ... LIGHT SOURCE

18 ... BEAM SHAPING OPTICAL SYSTEM

50 ... MAIN CONTROLLER

51 ... MEMORY

62 ... INPUT/OUTPUT UNIT

A ... DIRECTION OF SCANNING

(57)要約

主制御装置（５０）では、露光前にセンサ５９を用いて測定した、あるいは所定の演算により推定した光学系（２８Ａ、２８Ｂ、３２、ＰＬ）の透過率に応じて露光量制御目標値を設定し、レチクルパターンの光学系を介したウエハＷ上への転写中、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する。光学系の透過率に応じて単位面積当たり単位時間に像面に与えられる露光エネルギーは変化するので、光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定し、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御すれば、透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AL アルバニア	EE エストニア	LC セントルシア	SD スーダン
AM アルメニア	ES スペイン	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AT オーストリア	FI フィンランド	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AU オーストラリア	FR フランス	LR リベリア	SI スロヴェニア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LS レソト	SK スロヴァキア
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BB バルバドス	GD グレナダ	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BE ベルギー	GE グルジア	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MA モロッコ	TD チャード
BG ブルガリア	GM ガンビア	MC モナコ	TG トーゴ
BJ ベナン	GN ギニア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BR ブラジル	GW ギニア・ビサウ	MG マダガスカル	TZ タンザニア
BY ベラルーシ	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM トルクメニスタン
CA カナダ	HR クロアチア	共和国	TR トルコ
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	ML マリ	TT トリニダード・トバゴ
CG コンゴ	ID インドネシア	MN モンゴル	UA ウクライナ
CH スイス	IE アイルランド	MR モーリタニア	UG ウガンダ
CI コートジボアール	IL イスラエル	MW マラウイ	US 米国
CM カメルーン	IN インド	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	VN ヴिएトナム
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	YU ユーゴスラビア
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZA 南アフリカ共和国
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュージーランド	ZW ジンバブエ
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

明 細 書

露光方法、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス及びその製造方法

技術分野

本発明は、露光方法、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス及びその製造方法に係り、更に詳しくは、半導体素子、液晶表示素子等を製造するに際しフォトリソグラフィ工程で用いられる露光装置及びその製造方法、前記露光装置で行われる露光方法、並びに該露光方法を用いたデバイス製造方法及び前記露光装置によって製造されるデバイスに関する。

背景技術

従来より、半導体素子又は液晶表示素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程では、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）やこのステッパに改良を加えたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等の投影露光装置が主として用いられている。

この種の投影露光装置を構成する投影光学系の解像力は、Rayleigh の式で良く知られているように、 $R = k \times \lambda / N.A.$ の関係で表される。ここで、 R は投影光学系の解像力、 λ は露光光の波長、 $N.A.$ は投影光学系の開口数、 k はレジストの解像力の他にプロセスによって決定される定数である。

半導体素子の高集積化に伴い、投影光学系に要求される解像力はますます微細化し、これを実現するため、上式からも分かるように、露光光の短波長化や投影光学系の開口数を大きくする、いわゆる、高 $N.A.$ 化への努力が続けられている。近年では、 248 nm の出力波長を持つ弗化クリプトンエキシマレーザ（KrFエキシマレーザ）を露光用光源として、投影光学系の開口数も 0.

6以上の露光装置が実用化され、デバイスルール（実用最小線幅） $0.25\mu\text{m}$ の露光が実現されている。

上述した従来の投影露光装置においては、露光光の照射によって光学系の透過率は変化しないとの前提の下、露光量制御は、次のようにして行われていた。すなわち、予め、投影光学系の前側でレチクルに照射される露光光の光量を照明光学系内に配置された光量モニタ（インテグレータセンサと呼ばれる）で測定するとともに、投影光学系の後側でレチクル及び投影光学系を透過した露光光の光量をウエハステージ上の光量モニタ、例えば照度計で測定し、インテグレータセンサと照度計の出力比を求めておく。そして、露光の際は、前記出力比を用いてインテグレータセンサの出力値からウエハ面（像面）の照度を推定し、この像面照度が所望の値となるように露光量をフィードバック制御する。

ところで、最近では弗化クリプトンエキシマレーザに続く光源として、 193nm の出力波長を持つ弗化アルゴンエキシマレーザ（ArFエキシマレーザ）が注目されてきている。この弗化アルゴンエキシマレーザを露光用光源とする露光装置が実用化されれば、デバイスルール $0.18\mu\text{m}\sim 0.13\mu\text{m}$ まで及ぶ微細なパターンを有するマイクロデバイスの大量生産が可能となることが期待されており、精力的な研究開発が盛んに行われている。

しかしながら、露光用光源としてArFエキシマレーザを用いる露光装置にあっては光学系（照明光学系及び投影光学系）の透過率が露光光の照射によって無視できないレベルで変化するという事実が判明した。最近の研究によると、光学系の透過率は、露光光の照射開始後徐々に増加してあるレベルまで増加すると飽和状態に達する、という特徴のあることがわかっている。

すなわち、このような変化は、レンズや反射ミラー等の光学素子の表面に付着した水分や有機物がArFエキシマレーザ光の照射によって光学系表面から取除かれる、洗浄効果によるものと考えられる。かかる洗浄効果は、KrFエキシマレーザ光の場合にも生じていたものと思われるが、ArFエキシマレー

ザ光の場合は、水等に対する透過率が低いため、水滴等がある場合と無い場合とで透過率の差が大きく、KrFエキシマレーザ光の場合にはそれ程大きくないために問題とならなかったものと思われる。

光学系の透過率は露光光の照射によって変化しないことを前提とした上述した従来の露光量制御方法をそのまま採用できなくなってきた。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる露光方法を提供することにある。

本発明の第2の目的は、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる露光装置を提供することにある。

発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、光源(16)からの露光光(EL)で照明されたパターンを基板(W)上に転写する光学系(28A、28B、32、PL)を備える露光装置で行われる露光方法であって、前記光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する第1工程と；前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御しつつ前記パターンを前記光学系を介して前記基板上に転写する第2工程とを含む露光方法である。

ここで、露光量制御目標値とは、「基板上のレジストの感度等に応じて定められる像面(基板面)上に与えられるべき目標積算露光量のことではなく、該目標積算露光量を像面に与えるために制御の対象となる露光量の目標値」を意味し、本明細書においてはこのような意味で露光量制御目標値なる用語を用いる。

これによれば、第1工程で光学系の透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、第2工程では、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御しながらパターンが光学系を介して基板上に転写される。すなわち、光学系の透過率に応じて単位面積当たり単位時間に像面に与えられる露光エネルギーは

変化するので、本発明の如く、光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定し、その設定された露光量で露光を行えば、透過率変動の影響を受けない高精度な露光を実現することができる。

透過率変動に対する対応策として、予め露光時と同一の照明条件下で透過率の時間変化を計測して、その透過率時間変化曲線を求め、露光時には照射開始時からの経過時間と、照射停止時間とをタイマーにより計測し、この時間データと上記透過率時間変化曲線とを用いて透過率を演算にて推定し、この演算結果と照明光学系内に配置された光量モニタの出力とに基づいて像面照度を推定して、この像面照度が所望の値となるように露光量を制御する手法が考えられるが、かかる手法では、上記の透過率時間変化曲線を求めるための煩雑な事前計測動作が必要となるのに加え、演算にて推定した値が現実の透過率とほぼ一致するとは限らない。

本発明に係る露光方法では、前記第1工程における露光量制御目標値の設定の基準となる前記光学系の透過率は、所定の測定間隔で実際に測定するものとして行うことができる。かかる場合には、所定の測定間隔で透過率測定が実行される。そして、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御しながら、光源からの露光光で照明されたパターンが光学系を介して基板上に転写されることとなる。従って、上記の煩雑な事前計測動作が不要となるのに加え、実際に測定された透過率に基づいて露光量制御目標値が設定され、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御されるため、結果的に基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を行うことができる。

光学系の透過率は、露光条件に応じてその変動の様子が異なる。これを考慮して、本発明に係る露光方法では、前記測定間隔は、露光条件に応じて設定されたものであることが望ましい。かかる場合には、露光条件に応じて光学系の

透過率の測定間隔が設定され、設定された測定間隔で透過率測定が実行される。そして、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御しながら、光源からの露光光で照明されたパターンが光学系を介して基板上に転写されることとなる。従って、本発明によれば、露光条件によらず、結果的に基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を行うことができる。この場合も、上記の煩雑な事前計測動作は不要となる。

前記露光条件は光学系の透過率の測定間隔を設定する基準となる条件であり、この露光条件には光学系の透過率に影響を与える全てのものが含まれる。例えば前記露光条件には、マスク（R）の透過率が含まれていても良く、あるいは前記露光条件には、最小線幅及び露光量許容誤差のいずれかが含まれていても良い。

本発明に係る露光方法で、露光量制御目標値の設定の基準となる光学系の透過率を、所定の測定間隔で実際に測定する場合、前記測定間隔は、直前の透過率測定で得られた透過率とその前の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて変更するようにしても良い。かかる場合には、直前の透過率測定で得られた透過率とその前の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の透過率の測定間隔が変更されることから、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短くし、反対の場合には透過率測定間隔を長くすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実現することができる。

本願の発明者等は、種々の実験によって得た透過率変化曲線を基に、解析を行った結果、ArFエキシマレーザ光（あるいはそれより短波長の照明光）を光源とする露光装置の露光中の光学系の透過率の時間変化と、前回の装置停止時からの露光光の照射履歴との間には、所定の関係のあることが判明した。

そこで、本発明に係る露光方法では、前記第 1 工程は、前記光学系（28A、28B、32、PL）に対する露光光（EL）の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する予測関数決定工程と、前記決定した透過率の時間変化予測関数に基づいて前記露光量制御目標値を設定する工程とを含んでいても良い。

本発明によれば、光学系に対する露光光の照射履歴に即した光学系の透過率の時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて露光量制御目標値が設定され、パターンの転写時にはこの露光量制御目標値に基づいて露光量が制御されるので、露光中に頻繁に透過率測定を行うことなく、透過率の時間変化予測関数に基づいて予測された透過率に応じた正確な露光量制御（予測制御）が可能となり、結果的にスループットを不必要に低下させることなく、像面照度（基板面照度）を常にほぼ所望の値に設定することができる。

上記の予測関数決定工程において、光学系に対する露光光の照射履歴を考慮するのは、上記の如く、発明者等の研究の結果、光学系の透過率の変化率（変動率）が光学系に対する露光光の照射履歴に依存することが判ったからである。従って、本発明にいう時間変化予測関数は、光学系に対する露光光の照射履歴に依存するパラメータを含む式を意味する。

前記時間変化関数は、例えば、光学系透過率を T とし、その変化率を表すパラメータを a とし、照明条件を含む各露光条件に依存するパラメータを b_i とし、

$$T = a \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^k b_i t \right) \quad \dots \dots \quad (1)$$

で表される関数を用いることができる。

本発明に係る露光方法では、前記予測関数決定工程に先立って、前回の装置運転停止中の時間、その後の自己洗浄時の前記光学系に対する露光光の照射時

間、露光光強度及び積算照射量を計測する工程を含むことができる。

本明細書において、「自己洗浄」とは、装置運転開始後に行われる慣らし運転を意味する。これは装置の運転停止中に、光学系を構成する各レンズ素子の表面（光学薄膜表面）が汚染物質（有機系物質や水分）で汚染されるが、慣らし運転の際に、光学系に露光光が照射されることにより汚染物質が各レンズ素子表面から徐々に剥離される効果（洗浄効果）が生じるからである。なお、単に洗浄と呼ばないのは、露光中も洗浄効果は当然に生じるので、これと区別するためである。

照射履歴は、前回の装置停止から実際の基板の露光開始までの上記の各物理量に応じて定まるので、前回の装置運転停止中の時間、その後の自己洗浄時の前記光学系に対する露光光の照射時間、露光光強度及び積算照射量を実際に計測して照射履歴を求めることにより、正確な露光量予測関数を決定できる。

本発明に係る露光方法では、前記光学系の環境条件を所定時間間隔で測定し、前記透過率の時間変化予測関数の決定に際してこれらを考慮することがより望ましい。発明者等の研究により、露光装置本体が収納されたチャンバ内の温度や湿度、光学系、例えば投影光学系内のレンズ室の気圧や CO_2 濃度などの環境条件が、光学系の透過率の変化率に影響を与えることが判ったためである。

本発明に係る露光方法では、前記光学系の透過率を所定間隔で測定する工程を更に含み、前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正することとしても良い。これは、光学系の透過率変化を完全に正確に予測することは困難なので、所定間隔で透過率変化を測定し、その間に生じた露光量予測値の誤差を該所定間隔で補正した方がより一層正確な露光量制御が可能になるからである。

この場合において、前記透過率の測定間隔は、要求される露光精度との関係に応じて決定することが望ましい。かかる場合には、要求される露光精度が厳しいときには、測定間隔を短くして透過率時間変化予測関数をより細かい間隔

で補正することにより、算出される透過率の予測値の誤差をより小さくする一方、要求される露光精度が緩やかなときには、測定間隔を長くすることにより不要なスループット低下を防止することが可能となる。

また、透過率の変化の仕方（変化率）は一様ではないので、例えば、光学系の透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短く、その反対の場合には、長くするようにしても良い。かかる場合には、露光量制御精度を維持しつつ、スループットが不用意に低下するのを防止することができる。

本発明は、第2の観点からすると、光源（16）からの露光光（EL）で照明されたパターンを光学系（28A、28B、32、PL）を用いて基板（W）上に転写する露光装置であって、前記光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する露光量設定装置と；前記パターンの光学系を介した前記基板上への転写中、前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する露光量制系（50）とを備える露光装置である。

これによれば、露光量設定装置により、光学系の透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、露光量制御系ではパターンの光学系を介した前記基板上への転写中（すなわち露光中）、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する。前記の如く、光学系の透過率に応じて単位面積当たり単位時間に像面に与えられる露光エネルギーは変化するので、本発明の如く、光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定し、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御すれば、透過率変動の影響を受けることなく、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して露光を行うことができ、高精度な露光を実現することができる。

本発明に係る露光装置では、前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置（46、59、50）を更に備える場合には、前記露光量設定装置は、前記透過率測定装置で測定された透過率に応じて前記露光量制御目標値を設定することとすることができる。かかる場合には、透過率測定装置によって光学系の透

過率が測定され、露光量設定装置ではその測定された透過率に応じて露光量制御目標値を設定する。パターンの転写に際しては、露光量制御系によって、その設定された露光量制御目標値に基づいて、露光量が制御される。従って、前述した透過率時間変化曲線を求める場合のような煩雑な事前計測動作が不要となるのに加え、実際に測定された透過率に基づいて設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御されるため、結果的に基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を行うことができる。

この場合において、前記透過率測定装置（４６、５９、５０）は、所定の測定間隔で前記透過率測定を行うものであっても良い。かかる場合には、透過率測定装置により、所定の測定間隔で透過率測定が実行される。そして、次の透過率測定までの間は、露光量設定装置によりその前に測定された透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、露光量制御系により、露光中、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御される。従って、上記の煩雑な事前計測動作が不要となるのに加え、実際に測定された透過率に基づいて露光量制御目標値が設定され、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御され、しかも新たに透過率が測定される度毎にその時の透過率に応じて露光量目標値が更新設定され、その更新設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御される。従って、透過率の変動の影響を一層軽減した状態で基板面の照度（像面照度）を常に所望の（より適切な）値に設定して高精度な露光を行うことができる。

光学系の透過率は、露光条件に応じてその変動の様子が異なる。これを考慮して、本発明に係る露光装置では、前記透過率測定装置の測定間隔を露光条件に応じて設定する制御装置を更に備えていることが望ましい。かかる場合には、制御装置により、露光条件に応じて光学系の透過率の測定間隔が設定され、その設定された測定間隔で透過率測定装置により透過率測定が実行される。そして、次の透過率測定までの間は、露光量設定装置によりその前に測定された透

過率に応じて露光量制御目標値が設定され、パターンの光学系を介した基板への転写中、露光量制御系ではその設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する。また、露光処理動作の実行の途中で、露光条件が変更されると、制御装置によってその変更後の露光条件に応じて透過率測定装置の測定間隔が更新設定され、この更新後の測定間隔で以後の透過率測定が行われることとなる。従って、露光条件が大きな透過率変動が生じやすい露光条件であれば、透過率測定間隔を短くし、透過率変動が緩やかな露光条件であれば、透過率測定間隔を長くするようにすることができる。従って、露光条件の変更によらず、かつ透過率変動の影響を受けることなく、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光を実現することができる。この場合も、上記の煩雑な事前計測動作は不要となる。

本発明に係る露光装置で、透過率測定装置の測定間隔を露光条件に応じて設定する制御装置を備える場合に、前記パターンが形成されたマスクの情報を読み取る情報読み取り装置を更に備える場合には、前記制御装置は、前記読み取られた前記マスクの情報に基づいて前記透過率測定装置の測定間隔を自動的に設定することとすることができる。

本発明に係る露光装置では、前記透過率測定装置で直前に測定された透過率とその前に測定された透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置を更に備えることができる。かかる場合には、制御装置により、透過率測定装置で測定された透過率と前回に測定した透過率との変動量に応じて透過率測定装置における透過率の測定間隔が設定される。このため、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短くし、反対の場合には透過率測定間隔を長くすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光を実現することができる。

この場合において、前記透過率測定装置による透過率の連続 2 回の測定は、

露光開始に先立って行っても良く、あるいは前記透過率測定装置による透過率の連続2回の測定は、露光開始後に行っても良い。前者の場合には、露光開始当初の光学系の透過率に応じた透過率の測定間隔を自動的に設定することができ、後者の場合は、露光開始後に、上記の如く、透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短くし、反対の場合には透過率測定間隔を長くするような透過率測定間隔の自動設定が可能になる。

本発明に係る露光装置では、前記パターンに照射される前記露光光（E L）の光量を検出する第1の光センサ（46）を更に備える場合には、前記露光量制御系（50）は、前記パターンの前記基板への転写中、前記露光量制御目標値と前記第1の光センサの出力とに基づいて露光量を制御することが望ましい。かかる場合には、第1の光センサで検出される光量に基づいて実際の露光量を求め、該露光量と露光量制御目標値との差（偏差）がゼロとなるように露光量をフィードバック制御することにより高精度な露光量制御が可能となる。

本発明に係る露光装置では、前記透過率測定装置は、例えば、前記パターンに照射される前記露光光（E L）の光量を検出する第1の光センサ（46）と、前記基板とほぼ同一面上に設けられた第2の光センサ（59）と、前記第2の光センサを用いて露光条件に応じたタイミングで前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出し、該光量と前記第1の光センサ（46）の出力とに基づいて前記光学系の透過率を求める制御装置とを含んで構成することができる。

かかる場合には、露光条件に応じた所定のタイミングになると、制御装置では、基板とほぼ同一面上に設けられた第2の光センサを用いて光学系を通過した露光光の光量を検出し、該光量と第1の光センサの出力とに基づいて光学系の透過率を求める。そして、露光量設定装置ではその測定された（求められた）透過率に応じて露光量制御目標値を設定（更新設定）し、この更新された露光量制御目標値に基づいて、露光量制御系によってパターン転写中の露光量が制御される。これにより、光学系の透過率変動の影響を受けることなく、高精度

な露光を実現することができる。

この場合も、前記露光量制御系は、前記パターンの前記基板への転写中、前記露光量制御目標値と前記第 1 の光センサの出力とに基づいて露光量を制御することが望ましい。

この場合において、露光量制御目標値を更新するための光学系を通過した露光光の光量検出を実行するタイミングは、光学系の透過率に影響を与える露光条件に応じて決定すれば良く、例えば前記制御装置は、前記パターンが形成されたマスク（R）の透過率に応じたタイミングで前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行するようにしても良く、あるいは前記制御装置は、最小線幅及び露光量許容誤差のいずれかを考慮したタイミングで前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行するようにしても良い。

本発明に係る露光装置では、前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する演算装置（50）を更に備える場合には、前記露光量設定装置は、前記演算装置で決定された透過率時間変化予測関数に基づいて、前記露光量制御目標値を設定することとしても良い。

これによれば、演算装置により、光学系の照射履歴に即した光学系の透過率時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量設定装置により露光量制御目標値が設定され、パターンの転写時には、露光量制御系によりその設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御されるので、露光中に頻繁に透過率測定を行うことなく、透過率の時間変化予測関数に基づいて予測された透過率に応じた正確な露光量制御（予測制御）が可能となり、像面照度（基板面照度）を常にほぼ所望の値に設定してパターンを光学系を用いて基板上に転写できる。従って、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

この場合において、前記光学系の透過率を所定間隔で測定する透過率測定装置と；前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正する補正装

置とを更に備えることができる。かかる場合には、透過率測定装置により光学系の透過率が測定されると、補正装置ではその測定の度毎に透過率時間変化予測関数を補正することができるので、結果的に露光量予測値の誤差が前記所定間隔で補正されることとなり、一層正確な露光量制御が可能になる。

この場合、前記透過率測定装置で直前に測定された透過率とその前に測定された透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置を更に備えることができる。かかる場合には、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短くし、反対の場合には透過率測定間隔を長くすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光を実現することができる。

本発明に係る露光装置では、前記光学系は、前記パターンが形成されたマスク（R）を前記露光光（EL）により照明する照明光学系（12）と、前記マスクから出射された前記露光光を前記基板（W）に投射する投影光学系（PL）とを含み、前記マスクを保持するマスクステージ（RST）と；前記基板（W）を保持する基板ステージ（58）とを更に備えることができる。これによれば、照明光学系からの露光光によりマスクステージに保持されたマスクが照明され、該マスクのパターンが投影光学系を介して基板ステージ上の基板に転写される。この場合、前述の如く、光学系の透過率に応じて露光量制御目標値が設定され、上記のパターンの転写中に、その設定された露光量制御目標値に基づいて露光量が制御されるので、透過率変動の影響を受けることなく、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を行うことができるステッパ等の静止露光型の露光装置が提供される。

この場合において、前記マスクステージ（RST）と前記基板ステージ（58）とを前記投影光学系（PL）の光軸に直交する面内で一次元方向に同期移動する駆動装置とを更に備えることができる。かかる場合には、透過率変動の影響を受けることなく、基板面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値

に設定して高精度な露光を行うことができる走査型の投影露光装置が提供される。

本発明は、第3の観点からすると、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、前記マスクに露光光を照射する照明光学系を提供する工程と；前記マスクから出射された前記露光光を前記基板上に投射する投影光学系を提供する工程と；前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；前記投影光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する露光量設定装置を提供する工程と；前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する露光量制系を提供する工程とを含む露光装置の製造方法である。

これによれば、照明光学系、投影光学系、基板ステージ、露光量設定装置、露光量制系、並びにその他の様々な部品を機械的、光学的、及び電氣的に組み合わせ調整することにより、本発明の露光装置を製造することができる。この場合、ステップ・アンド・リピート方式等の静止露光型の投影露光装置を製造することができる。

本発明に係る露光装置の製造方法では、前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；前記マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸に直交する面内で一次元方向に同期移動する駆動装置を提供する工程とを更に含むことができる。かかる場合には、例えばマスクステージと基板ステージとの相対走査速度の変更調整により露光量を制御可能なステップ・アンド・スキャン方式等の走査型の露光装置を製造することができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層のパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。同様に、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、露光量制御精度の向上により線幅制御精度が向上し、これにより基板上に複数層のパターンを重ね

合せ精度良く形成することができる。従って、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光方法又は本発明の露光装置を用いるデバイス製造方法であり、また、該製造方法によって製造されたデバイスであるとも言える。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 2 は、図 1 の光源の内部構成を示す図である。

図 3 は、所定枚数のウエハ上にレチクルパターンを転写する場合の図 1 の主制御装置内の CPU の制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

図 4 は、本発明の第 2 の実施形態に係る露光装置における、所定枚数のウエハ上にレチクルパターンを転写する場合の主制御装置内の CPU の制御アルゴリズムを示すフローチャートである。

図 5 は、本発明の第 3 の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 6 は、第 3 の実施形態の露光装置における装置運転停止から、次に装置の運転を開始して所定枚数（M 枚）のウエハ W 上にレチクルパターンを転写し、再び装置の運転を停止するまでのシーケンスを示すフローチャートである。

図 7 は、図 6 のステップ 3 2 2 のサブルーチンを示すフローチャートである。

図 8 は、本発明に係るデバイス製造方法の実施形態を説明するためのフローチャートである。

図 9 は、図 8 のステップ 4 0 4 における処理を示すフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

《第 1 の実施形態》

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ～図 3 に基づいて説明する。

図 1 には、第 1 の実施形態の露光装置 10 の概略構成が示されている。この露光装置 10 は、露光用光源に ArF エキシマレーザ光源（発振波長 193 nm）を用いたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

この走査型露光装置 10 は、光源 16 及び照明光学系 12 から成る照明系、この照明系からの露光光 EL により照明されるマスクとしてのレチクル R を保持するレチクルステージ RST、レチクル R から出射された露光光 EL を基板としてのウエハ W 上に投射する投影光学系 PL、ウエハ W を保持する基板ステージとしての Z チルトステージ 58 が搭載された XY ステージ 14、及びこれらの制御系等を備えている。

前記光源 16 は、実際には、照明光学系 12 の各構成要素及びレチクルステージ RST、投影光学系 PL、及び XY ステージ 14 等から成る露光装置本体が収納されたチャンバ 11 が設置されたクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルームに配置されており、チャンバ 11 に不図示のビームマッチングユニットを介して接続されている。なお、光源として KrF エキシマレーザ光源（発振波長 248 nm）、あるいは F₂ エキシマレーザ光源（発振波長 157 nm）その他のパルス光源を用いても良い。

図 2 には、光源 16 の内部が、主制御装置 50 とともに示されている。光源 16 は、レーザ共振器 16a、ビームスプリッタ 16b、エネルギーモニタ 16c、エネルギーコントローラ 16d 及び高圧電源 16e 等を有する。

レーザ共振器 16a からパルスの放出されたレーザビーム LB は、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ 16b に入射し、ビームスプリッタ 16b を透過したレーザビーム LB が外部に射出される。また、ビームスプリッタ 16b で反射されたレーザビーム LB が光電変換素子より成るエネルギーモニタ 16c に入射し、エネルギーモニタ 16c からの光電変換信号が不図示

のピークホールド回路を介して出力E Sとしてエネルギーコントローラ16dに供給されている。

通常の発光時には、エネルギーコントローラ16dは、エネルギーモニタ16cの出力E Sが、主制御装置50より供給された制御情報T S中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源16eでの電源電圧をフィードバック制御する。また、エネルギーコントローラ16dは、レーザ共振器16aに供給されるエネルギーを高圧電源16eを介して制御することにより発振周波数をも変更する。すなわち、エネルギーコントローラ16dは、主制御装置50からの制御情報T Sに応じて光源16の発振周波数を主制御装置50で指示された周波数に設定するとともに、光源16での1パルス当たりのエネルギーが主制御装置50で指示された値となるように高圧電源16eの電源電圧のフィードバック制御を行なう。かかる詳細は、例えば特開平8-250402号公報及びこれに対応する米国特許第5728495号等に詳細に開示されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする

また、光源16内のビームスプリッタ16bの外側には、主制御装置50からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ16fも配置されている。

図1に戻り、前記照明光学系12は、ビーム整形光学系18、エネルギー粗調器20、フライアイレンズ22、照明系開口絞り板24、ビームスプリッタ26、第1リレーレンズ28A、第2リレーレンズ28B、固定レチクルブラインド30A、可動レチクルブラインド30B、光路折り曲げ用のミラーM及びコンデンサレンズ32等を備えている。なお、フライアイレンズ22の代わりにオプティカルインテグレータとしてロッドレンズを用いても良い。

前記ビーム整形光学系18は、チャンバ11に設けられた光透過窓13を介

して不図示のビームマッチングユニットに接続されている。このビーム整形光学系 18 は、光源 16 でパルス発光され光透過窓 13 を介して入射したレーザービーム L B の断面形状を、該レーザービーム L B の光路後方に設けられたフライアイレンズ 22 に効率良く入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

前記エネルギー粗調器 20 は、ビーム整形光学系 18 後方のレーザービーム L B の光路上に配置され、ここでは、回転板 34 の周囲に透過率（＝1－減光率）の異なる複数個（例えば 6 個）の ND フィルタ（図 1 ではその内の 2 個の ND フィルタ 36 A、36 D が示されている）を配置し、その回転板 34 を駆動モータ 38 で回転することにより、入射するレーザービーム L B に対する透過率を 100% から等比級数的に複数段階で切り換えることができるようになっている。駆動モータ 38 は、後述する主制御装置 50 によって制御される。なお、その回転板 34 と同様の回転板を 2 段配置し、2 組の ND フィルタの組み合わせによってより細かく透過率を調整できるようにしてもよい。

前記フライアイレンズ 22 は、エネルギー粗調器 20 から出たレーザービーム L B の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多数の 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザービームを以下においては、「露光光 E L」と呼ぶものとする。

フライアイレンズ 22 の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板 24 が配置されている。この照明系開口絞り板 24 には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 1 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 24 は、後述する主制御装置 50 により制御されるモータ等の駆動装置 40 により回転されるようになっており、これによ

りいずれかの開口絞りが露光光E Lの光路上に選択的に設定される。

照明系開口絞り板24から出た露光光E Lの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ26が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド30A及び可動レチクルブラインド30Bを介在させて第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bから成るリレー光学系が配置されている。

固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域42Rを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを介して照明領域42Rを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

リレー光学系を構成する第2リレーレンズ28B後方の露光光E Lの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過した露光光E LをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の露光光E Lの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

更に、照明系12内のビームスプリッタ26で垂直に折り曲げられる一方の光路上、他方の光路上には、光電変換素子よりなる第1の光センサとしてのインテグレートセンサ46、反射光モニタ47がそれぞれ配置されている。これらインテグレート46、反射光モニタ47としては、例えば遠紫外域で感度があり、且つ光源16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するPIN型のフォトダイオード等が使用できる。

このようにして構成された照明系12の作用を簡単に説明すると、光源16からパルス発光されたレーザビームLBは、ビーム整形光学系18に入射して、ここで後方のフライアイレンズ22に効率よく入射するようにその断面形状が

整形された後、エネルギー粗調器 20 に入射する。そして、このエネルギー粗調器 20 のいずれかの ND フィルタを透過したレーザビーム LB は、フライアイレンズ 22 に入射する。これにより、フライアイレンズ 22 の射出端に多数の 2 次光源が形成される。この多数の 2 次光源から射出された露光光 EL は、照明系開口絞り板 24 上のいずれかの開口絞りを通過後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 26 に至る。このビームスプリッタ 26 を透過した露光光 EL は、第 1 リレーレンズ 28 A を経て固定レチクルブラインド 30 A の矩形の開口部及び可動レチクルブラインド 30 B を通過した後、第 2 リレーレンズ 28 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ 32 を経て、レチクルステージ RST 上に保持されたレチクル R 上の矩形の照明領域 42 R を均一な照度分布で照明する。

一方、ビームスプリッタ 26 で反射された露光光 EL は、集光レンズ 44 を介してインテグレータセンサ 46 で受光され、インテグレータセンサ 46 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を介して出力 DS (digit/pulse) として主制御装置 50 に供給される。このインテグレータセンサ 46 の出力 DS と、ウエハ W の表面上での露光光 EL の照度（露光量）との相関係数は予め求められて、主制御装置 50 に併設されたメモリ 51 内に記憶されている。

また、レチクル R 上の照明領域 42 R を照明しそのレチクルのパターン面（図 1 における下面）で反射された反射光束は、コンデンサレンズ 32、リレー光学系を前と逆向きに通過し、ビームスプリッタ 26 で反射され、集光レンズ 48 を介して反射光モニタ 47 で受光される。この反射光モニタ 47 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を介して主制御装置 50 に供給される。反射光モニタ 47 は、本実施形態では、主としてレチクル R の透過率の事前測定の際に用いられる。これについては後述する。

前記レチクルステージ RST 上にレチクル R が載置され、不図示のバキュー

ムチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージRSTは、水平面（XY平面）内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部48によって走査方向（ここでは図1の紙面左右方向であるY方向とする）に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージRSTの位置は、レチクルステージRST上に固定された移動鏡52Rを介して外部のレーザ干渉計54Rによって計測され、このレーザ干渉計54Rの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

なお、レチクルRに用いる材質は、使用する光源によって使い分ける必要がある。すなわち、KrF光源やArF光源を光源とする場合は、合成石英を用いることができるが、F₂光源を用いる場合は、ホタル石で形成する必要がある。

前記投影光学系PLは、両側テレセントリックな光学配置になるように配置された共通のZ軸方向の光軸AXを有する複数枚のレンズエレメントから構成されている。また、この投影光学系PLとしては、投影倍率 β が例えば1/4や1/5などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光ELによりレチクルR上の照明領域42Rが照明されると、そのレチクルRに形成されたパターンが投影光学系PLによって投影倍率 β で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域42Wに投影され転写される。

なお、露光光ELとしてKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を用いる場合には、投影光学系PLを構成する各レンズエレメントとしては合成石英等を用いることができるが、F₂エキシマレーザ光を用いる場合には、この投影光学系PLに使用されるレンズの材質は、全てホタル石が用いられる。

前記XYステージ14は、ウエハステージ駆動部56によって走査方向であるY方向及びこれに直交するX方向（図1における紙面直交方向）に2次元駆動されるようになっている。このXYステージ14上に搭載されたZチルトステージ58上に不図示のウエハホルダを介してウエハWが真空吸着等により保

持されている。Zチルトステージ58は、ウエハWのZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面に対するウエハWの傾斜角を調整する機能を有する。

すなわち、ウエハWのZ方向位置は、図示は省略されているが、例えば特開平6-283403号公報及びこれに対応する米国特許第5,448,332号等の開示される多点焦点位置検出系から成るフォーカスセンサによって計測されるようになっており、このフォーカスセンサの出力が主制御装置50に供給され、主制御装置ではZチルトステージ58を制御していわゆるフォーカスレベリング制御を行うようになっている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

また、XYステージ14の位置は、Zチルトステージ58上に固定された移動鏡52Wを介して外部のレーザ干渉計54Wにより計測され、このレーザ干渉計54Wの計測値が主制御装置50に供給されるようになっている。

また、Zチルトステージ58上には、投影光学系PLを通過した露光光ELの光量を検出するための第2の光センサとしての照射量モニタ59がその受光面をほぼウエハWの表面と同一高さとして設置されている。なお、照射量モニタに代えて、第2の光センサとして照度計、ピンホールセンサから成る照射ムラセンサ、フォトクロミック、空間像計測器等の他のセンサを設けても良い。

制御系は、図1中、制御装置としての主制御装置50によって主に構成される。主制御装置50は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクルRとウエハWの同期走査、ウエハWのステッピング、露光タイミング等を統括して制御する。また、本実施形態では、主制御装置50は、後述するように走査露光の際の露光量の制御も行う。

具体的には、主制御装置 50 は、例えば走査露光時には、レチクル R がレチクルステージ RST を介して +Y 方向（又は -Y 方向）に速度 $V_r = V$ で走査されるのに同期して、XY ステージ 14 を介してウエハ W が露光領域 42 W に対して -Y 方向（又は +Y 方向）に速度 $V_w = \beta \cdot V$ （ β はレチクル R からウエハ W に対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計 54 R、54 W の計測値に基づいてレチクルステージ駆動部 48、ウエハステージ駆動部 56 をそれぞれ介してレチクルステージ RST、XY ステージ 14 の位置及び速度をそれぞれ制御する。すなわち、本実施形態では、レチクルステージ駆動部 48、ウエハステージ駆動部 56 及び主制御装置 50 によって、レチクルステージ RST、XY ステージ 14 を一次元方向に同期移動する駆動装置が構成されている。また、ステッピングの際には、主制御装置 50 ではレーザ干渉計 54 W の計測値に基づいてウエハステージ駆動部 56 を介して XY ステージ 14 の位置を制御する。

また、主制御装置 50 では、上記の走査露光時には、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハ W に与えるため、インテグレートセンサ 46 の出力をモニタしつつ制御情報 TS を光源 16 に供給することによって、光源 16 の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器 20 をモータ 38 を介して制御することにより、レチクル R に照射される光量、すなわち露光量の調整を行う。また、主制御装置 50 では、照明系開口絞り板 24 を駆動装置 40 を介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド 30 B の開閉動作を制御する。

このように本実施形態では、主制御装置 50 が、露光コントローラ（露光量制御系）及びステージコントローラ（ステージ制御系）の役目をも有している。これらのコントローラを主制御装置 50 とは別に設けても良いことは勿論である。

次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置 10 において所定枚数（ここでは $M = 100$ 枚とする）のウエハ W 上にレチクルパターンを転写する場合の露光シーケンスについて、主制御装置 50 内の CPU の制御アルゴリズムを示す図 3 のフローチャートに沿って説明する。

まず、前提条件について説明する。

- ① オペレータによりコンソール等の入出力装置 62（図 1 参照）から入力されたショット配列、ショットサイズ、各ショットの露光順序その他の必要なデータに基づいて、予めショットマップデータ（各ショット領域の露光順序と走査方向とを定めたデータ）が作成され、メモリ 51（図 1 参照）内に格納されているものとする。
- ② また、インテグレータセンサ 46 の出力 DS は、Z チルトステージ 58 上で像面（即ち、ウエハの表面）と同じ高さに設置された不図示の基準照度計の出力に対して予め較正（キャリブレーション）されている。その基準照度計のデータ処理単位は $(\text{mJ} / (\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}))$ なる物理量であり、インテグレータセンサ 46 の較正とは、インテグレータセンサ 46 の出力 DS (digit/pulse) を、像面上の露光量 $(\text{mJ} / (\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}))$ に変換するための変換係数 K1（或いは変換関数）を得ることである。この変換係数 K1 を用いると、インテグレータセンサ 46 の出力 DS より間接的に像面上に与えられている露光量を計測できることになる。
- ③ また、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力 DS に対して、エネルギーモニタ 16c の出力 ES もキャリブレーションされ、両者の相関係数 K2 も予め求められ、メモリ 51 内に格納されている。
- ④ さらに、上記キャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力に対して反射光モニタ 47 の出力がキャリブレーションされ、インテグレータセンサ 46 の出力と反射光モニタ 47 の出力との相関係数 K3 が予め求められてメモリ 51 内に格納されているものとする。

⑤ 更に、図 1 のメモリ 51 内には、下記の（表 1）に示されるような、露光条件の違いによる光学系透過率測定タイミングを示すテーブルデータが記憶されているものとする。また、後述するウエハ露光処理枚数を示す第 1 カウンタのカウント値 m は「1」、透過率測定区間内のウエハ処理枚数を示す第 2 カウンタのカウント値 n は「0」に初期設定されているものとする。

【表 1】

	最小線幅[nm]	150～200	200～400	400～
	露光量許容誤差[%]	0.5	1.0	2.0
レチクル 透過率 [%] Rt	$0 < Rt \leq 10$	12枚	1ロット	2ロット
	$10 < Rt \leq 20$	6枚	12枚	1ロット
	$20 < Rt \leq 30$	4枚	8枚	16枚
	$30 < Rt \leq 40$	3枚	6枚	12枚
	$40 < Rt \leq 50$	2枚	4枚	9枚
	$50 < Rt \leq 60$	2枚	4枚	8枚
	$60 < Rt \leq 70$	1枚	3枚	6枚
	$70 < Rt \leq 80$	1枚	3枚	6枚
	$80 < Rt \leq 90$	1枚	2枚	5枚
	$90 < Rt \leq 100$	1枚	2枚	4枚

この図 3 の制御アルゴリズムがスタートするのは、オペレータによりコンソール等の入出力装置 62（図 1 参照）から照明条件（投影光学系の開口数 $N.A.$ 、コヒーレンスファクタ σ やレチクルパターンの種類（コンタクトホール、ラインアンドスペース等）、レチクルの種類（位相差レチクル、ハーフトーンレチクル等）、及び最小線幅又は露光量許容誤差など）を含む露光条件が入力され、この入力に応じて、主制御装置 50 が、投影光学系 PL の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板 24 の開口の選択設定、エネルギー粗調器 20 の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン計測等の一連の準備作業

が終了した時点であるものとする。

まず、ステップ100において、レチクルステージRST上にロードされたレチクルRの透過率 R_t (%)を次のようにして求める。すなわち、まず、光源16をパルス発光させるとともにシャッタ16fを開成して、露光光ELによりレチクルRを照射し、そのときのインテグレータセンサ46と、反射光モニタ47との出力を取り込み、両者の比に上記の相関係数 K_3 を乗じ、これを1から減じて100倍することによってレチクルRの透過率 R_t (%)を求める。このとき、XYステージ14は、投影光学系PLの直下と離れた所定のローディングポジションにあるため、投影光学系PLの直下にXYステージ14が存在しないので、投影光学系PLより下方側からの反射光は、無視できる程度に小さいものと考えて差し支えない。この場合において、レチクル透過率 R_t (%)をより正確に求めるために、次のようにしても良い。

すなわち、レチクルRには、レチクルの種類と、パターン密度、レチクルパターン及びレチクル自身（硝材）の反射率を示す情報を示すバーコードを設けておく。主制御装置50では、レチクルステージRST上にレチクルRがロードされる際に、そのレチクルRのバーコードを不図示のバーコードリーダを介して読み取り、メモリ51に記憶する。そして、主制御装置50では、上記と同様にして、露光光ELによりレチクルRを照射し、そのときのインテグレータセンサ46と反射光モニタ47との出力を取り込み、これら出力とメモリ51内のレチクル情報とに基づいて、レチクルRの透過率 R_t (%)を求める。

さらに別の方法として、レチクルステージRST上にロードされる全てのレチクルRの透過率を測定しておき、レチクル毎にその透過率の情報をメモリ51に記憶しておく。そして、主制御装置50では、実際にレチクルステージRST上にロードされたレチクルRに対応する透過率の情報をメモリ51内から読み出し、レチクルRの透過率を求めるようにしても良い。上記のいずれの方法による場合でも、レチクル透過率を求めた後、シャッタ16fを閉成する。

次のステップ102で、先にオペレータによって入力された露光条件及び上記ステップ100で求めたレチクル透過率(%)に基づいて、メモリ51内に格納されている前述した(表1)のテーブルを用いて、光学系の透過率、具体的には、リレーレンズ28A、28B、コンデンサレンズ32、投影光学系PLから成る光学系の透過率測定間隔を決定する。具体的には、透過率測定をウエハN枚の露光終了毎に実行するものとして、そのN枚をn1枚とするのである。例えば、最小線幅250nm(0.25 μ m)又は露光量許容誤差1.0%でレチクル透過率が30%であった場合には、(表1)のテーブルを用いて、N=n1(=8)を設定し、メモリ51に記憶する。また、例えば、最小線幅250nm(0.25 μ m)又は露光量許容誤差1.0%でレチクル透過率が3%である場合には、N枚を1ロットする。すなわち、1ロットを25枚として、N=n1(=25)を設定し、メモリ51に記憶する。以下の説明では、N=n1=8であるものとする。

次のステップ104では、光学系の透過率測定を次のようにして行う。すなわち、照射量モニタ59が投影光学系PLの直下に位置するように、XYステージ14をウエハステージ駆動部56を介して駆動し、シャッタ16fを開成してこのときのインテグレータセンサ46の出力と、照射量モニタ59の出力との比を100倍し且つ所定の係数(K4とする)を乗じることによって行う。そして、この測定した光学系の透過率に応じて、露光量制御目標値を設定する。

次のステップ106では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換(ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード)が行われ、次のステップ108で例えば、特開平9-186061号公報及び特開平9-36202号公報並びにこれらに対応する米国特許出願番号08/678788号等の開示されるいわゆるサーチアライメント、及びファインアライメント(例えば、特開昭61-44429号公報及びこれに対応

する米国特許第第4, 780, 617号等の開示される最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の配列座標を求めるエンハンスド・グローバル・アライメント (EGA) 等) の一連のアライメント工程の処理が行われる。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する米国特許出願及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

次のステップ110では、上記ステップ108のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウエハW上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハWを移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返して行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、主制御装置50により、前述した露光量制御が行われるが、この際に、ステップ104で測定された透過率に応じた露光量制御目標値とインテグレータセンサ46の出力とに基づいて前述した如くして露光量制御が行われる。

このようにして、第m枚目（ここでは、第1枚目）のウエハWに対する露光が終了すると、ステップ112に進んで、前述した第1カウンタのカウント値m、第2カウンタのカウント値nをそれぞれ1インクリメント ($n \leftarrow n + 1$ 、 $m \leftarrow m + 1$) する。

次のステップ114では、カウント値mが予定処理枚数Mを超えたか否かを判断する。第1枚目のウエハWの露光が終了した時点では、 $m = 2$ であるから当然にこの判断は否定され、ステップ116に進んでカウント値nがN、すなわち $n = 8$ であるか否かを判断する。第1枚目の露光が終了した時点では、 $n = 1$ であるからこの判断は否定され、ステップ106に戻って以後上記処理・判断を繰り返す。

そして、8枚目のウエハの露光が終了すると、 $n = 8 = N$ となって、ステッ

ステップ 116 の判断が肯定され、ステップ 118 に進んで第 2 カウンタをリセット ($n \leftarrow 0$) した後、ステップ 104 に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行い、その測定結果をメモリ 51 に記憶、すなわち透過率の測定値を更新する。

その後、ステップ 106 以降の処理・判断を繰り返して、ウエハ 8 枚露光する度毎に、光学系の透過率測定を繰り返し行いつつ、100 枚目のウエハ W に対する露光が終了すると、ステップ 114 の判断が肯定されて、一連の露光処理を終了する。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、インテグレータセンサ 46、照射量モニタ 59 及び主制御装置 50 によって透過率測定装置が構成されている。また、主制御装置 50 の機能によって、露光量設定装置、露光量制御系が実現されている。

以上説明したように、本実施形態によると、主制御装置 50 が露光条件に応じて光学系（リレーレンズ 28A、28B、コンデンサレンズ 32、投影光学系 PL から成る光学系）の透過率の測定間隔を設定し（ステップ 102）、設定された測定間隔で透過率測定を実行する（ステップ 104～116）。すなわち、露光条件に応じた所定のタイミングになると、主制御装置 50 では、Z ステージ 58 上の照射量モニタ 59 を用いて上記光学系を通過した露光光の光量を検出し、該光量とインテグレータセンサ 46 の出力とに基づいて光学系の透過率を求め、この求めた透過率に応じて露光量制御目標値を更新（設定）する。そして、次の透過率測定までの間は、その前に測定された透過率に応じた露光量制御目標値とインテグレータセンサ 46 の出力とに基づいて露光量を制御しながら、光源 16 からの露光光で照明されたレチクル R のパターンを投影光学系を介してウエハ W 上に転写する。このように、本実施形態の露光装置 10 によると、露光条件に応じて設定された測定間隔で光学系の透過率を測定しながら、実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、露光条件によら

ず、かつ光学系の透過率変動の影響を受けることなく、ウエハ面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して高精度な露光を実現することができる。また、透過率推定のための複雑な演算も不要である。

また、本実施形態では、主制御装置 50 がレチクル透過率 R_t と最小線幅（又は露光量許容誤差）とに応じて、光学系の透過率を測定する間隔を自動的に決定する場合について説明したが（表 1 参照）、これは次のような理由による。すなわち、レチクル透過率 R_t が低い場合は、投影光学系 PL 等の透過率の変化量が小さいので、光学系の透過率測定の間隔を長めにしても良く、この反対にレチクル透過率 R_t が高い場合は、投影光学系 PL 等の透過率の変化量が大きくなるので、光学系の透過率測定の間隔を短くした方が良いと考えられるからである。また、最小線幅を問題としたのは露光するレイヤ（層）により、精度が重視される場合と処理速度が重視される場合とがあるからである。総合すると、本実施形態では、露光精度を十分に高く維持しつつ、スループットを可能な限り高くしようとの観点からレチクル透過率 R_t と最小線幅とを基準として、光学系の透過率を測定する間隔（タイミング）を決定したものである。

しかしながら、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、光学系の透過率は、照明系 N. A.、投影光学系 N. A.、コヒーレンスファクタ σ 値、レチクルの種類（位相差レチクル等）、レチクルのパターン（コンタクトホール、周期パターン）等の様々な条件（広い意味での露光条件）により、振る舞いが異なることが知られており、上記のレチクル透過率 R_t と最小線幅（又は露光量許容誤差）とこれらの各露光条件の任意の組み合わせに応じて、光学系の透過率を測定する間隔を自動的に決定するようにしても良いことは勿論である。例えば、レチクルの種類、レチクルのパターン等に応じて光学系透過率測定間隔を自動設定する場合には、そのレチクルの種類等の情報をバーコード等でレチクルの一部に記録し、レチクルのロード中にこれをバーコードリーダ等によって読み取り、主制御装置 50 がレチクル種類等を認識した時点で、測定間隔

を自動的に設定するようなことも可能である。上記のレチクルの種類等の情報をバーコード等でレチクルの一部に記録し、レチクルのロード中にこれをバーコードリーダ等によって読み取る手法は、例えば特開平 9 - 1 4 8 2 2 9 号公報等に詳細に開示されている。

ところで、上記実施形態では定められた露光条件に応じて光学系の透過率測定間隔を決定する、換言すれば、露光条件毎に定められた間隔、例えばロット毎、所定枚数毎等で光学系の透過率測定が繰り返し行われる場合について説明したが、連続して露光が行われる場合には、投影光学系 PL 等の透過率変化の態様は一様ではないため、この透過率の変化の態様に応じて光学系透過率測定の間隔を自動的に変更することがより望ましいと考えられる。かかる点に着目したのが、次の第 2 の実施形態である。

《第 2 の実施形態》

次に、本発明の第 2 の実施形態を図 4 に基づいて説明する。ここで、前述した第 1 の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一の符号を用いるとともにその説明を省略するものとする。この第 2 の実施形態は、装置構成等は、前述した第 1 の実施形態と同一であり、主制御装置 50 の機能が異なるのみであるから、以下においてはこの点を中心に説明する。

図 4 には、第 2 の実施形態に係る主制御装置 50 の主要な制御アルゴリズムに対応するフローチャートが示されている。この図 4 を用いて、本第 2 の実施形態の露光装置により、所定枚数（ここでは $M = 1000$ 枚とする）のウエハ W 上にレチクルパターンを転写する場合の露光シーケンスについて説明する。

前提条件として、前述した第 1 の実施形態と同様に、予めショットマップデータがメモリ 51（図 1 参照）内に格納され、インテグレータセンサ 46 の出力の基準照度計出力に対するキャリブレーション、このキャリブレーションが完了したインテグレータセンサ 46 の出力に対するエネルギーモニタ 16c、反射光モニタ 47 の出力のキャリブレーション等が終了しているものとする。ま

た、後述するウエハ露光処理枚数を示す第1カウンタのカウント値 n は「1」、透過率測定間隔に対応するウエハ枚数を示す第2カウンタのカウント値 n は「0」に初期設定されているものとする。また、この場合、露光に用いられるレチクル R の透過率 R_t は予め計測されているものとする。

この図4の制御アルゴリズムがスタートするのは、オペレータによりコンソール等の入出力装置62（図1参照）から照明条件、レチクルパターンの種類、レチクルの種類、最小線幅等の露光条件が入力され、この入力に応じて、主制御装置50が、投影光学系 PL の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板24の開口の選択設定、エネルギー粗調器20の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン計測等の一連の準備作業が終了した時点であるものとする。

また、以下においては、光学系の透過率測定間隔を、ウエハ1枚毎、5枚毎、10枚毎、25枚（1ロット）毎、50枚（2ロット）毎、100枚（4ロット）毎の6段階に変更するものとして、それぞれの枚数（測定間隔）を X_i （ $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ）として、便宜上表現するものとする。

ここでは、デフォルトの設定として、光学系透過率の測定間隔が1ロット、すなわち $N=X_4=25$ に設定され、また、露光量許容誤差（ここでは、光学系透過率変化許容値と一致するものとする）が1%に設定されているものとする。

ステップ200において、前述したステップ104と同様に、照射量モニタ59が投影光学系 PL の直下に位置するように、 XY ステージ14をウエハステージ駆動部56を介して駆動し、シャッタ16fを開成してこのときのインテグレートセンサ46の出力と、照射量モニタ59の出力との比を100倍し且つ所定の係数（ K_4 とする）を乗じることによって光学系の透過率を測定し、その結果をRAMの一時記憶領域に記憶する。

次のステップ202では、第1カウンタのカウント値 m が「1」であるか否

かを判断する。第1枚目のウエハWの露光の前は、 $m=1$ であるから、この判断が肯定され、ステップ204に進んで上記ステップ200で一時記憶領域に記憶した光学系の透過率をメモリ51の所定領域に記憶する。

その後、ステップ219、220、224、226、228において、前述した図3のステップ106～116と同様の処理・判断を行って、第1枚目～第25枚目のウエハWを順次露光する。そして、1ロットの最後のウエハWの露光が終了すると、 $n=25=N$ となって、ステップ228の判断が肯定され、ステップ230に進んで第2カウンタをリセット($n \leftarrow 0$)した後、ステップ200に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行ってその結果をRAMの一時記憶領域に記憶し、ステップ202に進む。

このステップ202では、第1カウンタのカウント値 m が「1」であるか否かを判断するが、このとき $m=26$ であるから、この判断が否定されてステップ206に移行する。

このステップ206では、RAM内の一時記憶領域に記憶されている今回の透過率とメモリ51内の所定領域に記憶されている前回の透過率との差（透過率の変化量）を算出し、この算出結果をRAM内の別の領域に記憶するとともに、メモリ51内の所定領域に今回の透過率を上書きして透過率を更新する。

次のステップ208では、上記ステップ206で算出した透過率の変化量が0.5%以内であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ210に進んで、光学系の透過率測定間隔を規定する X_i の添え字 i が6であるか否かを判断する。この場合、 $N=25=X_4$ 、すなわち $i=4$ であるから、このステップ210の判断は否定され、ステップ212に進んで $N=X_{i+1}$ に更新する。この場合、 $N=X_5=50$ に更新され、光学系の透過率の測定間隔が1ロット毎から2ロット毎に変更される。その後、ステップ219に移行し、2ロットのウエハWに対する露光が行われる。

一方、ステップ210の判断が肯定された場合、すなわち、 $N=X_6=100$

となっており、かつ透過率変化量が0.5%以内である場合には、もっとも長い透過率測定間隔が本実施形態ではウエハ100枚毎であるから、そのままステップ219に移行して、4ロットのウエハWの露光が終了する度毎に透過率の測定を繰り返し行う。

この一方、ステップ208の判断が否定された場合、すなわち上記ステップ206で算出した透過率の変化量が0.5%を超えている場合には、ステップ214に移行し、その透過率変化量が1%以内であるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、デフォルト設定の透過率変化の許容誤差内であるから、そのままステップ219に移行し、例えば $N = 25 = X_4$ の場合には、1ロットのウエハWに対して露光が行われる。一方、ステップ214における判断が否定された場合、すなわち上記ステップ206で算出した透過率の変化量が1%を超えている場合には、ステップ216に進んで、光学系の透過率測定間隔を規定する X_i の添え字 i が「1」であるか否かを判断する。ここで、 $N = 25 = X_4$ 、すなわち $i = 4$ であるとする、このステップ216の判断は否定され、ステップ218に進んで $N = X_{i-1}$ に更新する。この場合、 $N = X_3 = 10$ に更新され、光学系の透過率の測定間隔が1ロット毎から10枚毎に変更される。その後、ステップ219に移行し、10枚のウエハWに対する露光が行われる。

一方、上記ステップ216における判断が肯定された場合、すなわち、 $N = X_1 = 1$ となっており、かつ透過率変化量が1%を超えている場合には、最も短い透過率測定間隔が設定されているにもかかわらず、透過率変化が許容値を超えているので、そのまま露光を続行したのでは要求される精度の露光ができないため、ステップ232に移行して不図示のブザー等によりオペレータに警告を発するとともに、露光動作を強制終了する。かかる事態は、何らかの異常に起因する場合だからである。

上述のような露光処理ルーチンに従って、ウエハWに対して順次露光が行わ

れるが、途中で強制終了される場合の除き、40ロットのウエハWに対する露光が行われ、1000枚目のウエハWの露光が終了すると、 $m=1001$ となってステップ226の判断が肯定されて、一連の露光処理動作を終了する。

ここで、ステップ222における走査露光中に、主制御装置50により、前述した第1の実施形態と同様に、ステップ200で測定された透過率に応じた露光量制御目標値とインテグレータセンサ46の出力とに基づいて前述した如くして露光量制御が行われることは勿論である。

以上説明した本第2の実施形態によると、所定の測定間隔で光学系の透過率測定が実行され、その実際に測定された透過率に基づいて露光量が制御されるため、透過率推定のための複雑な演算を行うことなく、ウエハ面の照度（像面照度）を常に所望の（適切な）値に設定して露光を行うことができる。また、本第2の実施形態によると、直前の透過率測定で得られた透過率とその前の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて次回以降の透過率の測定間隔が変更されることから、透過率を頻繁に測定する必要がある透過率の変化率が大きい期間では透過率測定間隔を短くし、反対の場合には透過率測定間隔を長くすることにより、スループットを不必要に低下させることなく、しかも高精度な露光量制御を実現することができる。

なお、上記第2の実施形態では、実際の露光が開始された後に得られた光学系の透過率の変化量に基づいて透過率の測定間隔を変更する場合について説明したが、例えば、露光処理開始前に2回以上光学系の透過率を測定し、その差に基づいて、測定間隔を自動的に設定するようにしても良い。

また、上記実施形態では、光学系透過率の測定間隔を、露光条件に応じて露光装置が自動的に設定する場合について説明したが、オペレータが露光条件等に応じてこの測定間隔を自動的に設定するようにしても良い。同様に、露光中に測定した光学系透過率をディスプレイ等に表示させて、その表示に基づいてオペレータが透過率の測定間隔を設定するようにすることも可能である。

なお、上記実施形態では、露光量の制御方法として、走査露光時に、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハWに与えるため、光源16の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器20による減光率を調整する場合について説明したが、走査型露光装置の場合には、その走査露光の際に、光源16のパワーを一定に保ったまま、かつレチクルステージRSTとXYステージ14との速度比を保ったまま、その走査速度を変化させることによっても露光量の調整を行うことが可能である。あるいは、照明光学系12内の可動レチクルブラインド30Bを制御し、照明領域42Rの走査方向の幅（いわゆるスリット幅）を変化させることによっても露光量制御を実現することができる。あるいは走査速度の調整とスリット幅の調整とを組み合わせ、露光量の調整を行うことも可能である。

いずれにしても、投影光学系PL等の透過率変動によって、ウエハ面の照度が影響を受けるので、この影響を相殺して常に目標積算露光量がウエハWに与えられるように、露光量制御目標値（パルス発振周波数、パルスエネルギー、減光率、走査速度、スリット幅等の制御目標値）を更新すれば良い。同様の趣旨から露光条件が変更されたとき、透過率測定を行い、この測定した透過率に応じて上記露光量制御目標値を更新することが望ましい。また、透過率の変動の様子は、露光条件毎に異なるため、透過率の測定間隔は、露光条件に応じて設定することが望ましい。

《第3の実施形態》

次に、本発明の第3の実施形態を図5～図7に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分には、同一の符号を用いるとともにその説明を簡略にし若しくは省略するものとする。

図5には、本第3の実施形態の露光装置10'の概略構成が示されている。この露光装置10'は、露光用光源にArFエキシマレーザ光源（発振波長1

93 nm) を用いたステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。この露光装置 10' は、基本的構成は、前述した露光装置 10 と同様であるが、投影光学系 PL の内部のレンズ室内の所定の物理量を計測する内部環境センサ 53 と、投影光学系 PL の外部であってチャンバ 11 内の所定の物理量を計測する外部環境センサ 49 とが更に設けられている点、及び露光量制御方法及びその露光量制御の前提となる透過率の求め方が、前記各実施形態と異なるので、以下においてはこれらの点を中心として説明する。

前記内部環境センサ 53 は、レンズ室内の気圧を計測する圧力センサと CO₂ 濃度を計測するガスセンサとから成る複合センサが用いられ、また、外部環境センサ 49 としては、チャンバ 11 内の温度を計測する温度センサと湿度を計測する湿度センサとから成る複合センサが用いられるものとする。これら外部環境センサ 49、内部環境センサ 53 の出力は主制御装置 50 に供給されるようになっている。

その他の部分の構成は、次に説明する主制御装置 50 の構成及び露光量の制御に関する機能を除き、前述した第 1 の実施形態と同一である。

次に、本第 3 の実施形態の露光装置 10' において、装置の運転を停止してから、次に装置の運転を開始して所定枚数 (M 枚、例えば M = 100 とする) のウエハ W 上にレチクルパターンの転写を行い、再び装置の運転を停止するまでのシーケンスについて、図 6 及び図 7 のフローチャートに沿って説明する。

ここで、主制御装置 50 は、第 1 プロセッサ、第 2 プロセッサ及び第 3 プロセッサの 3 つのプロセッサを中心に構成されているものとする。この内、第 2 プロセッサは、所定時間 Δt 、例えば 1 分間隔で前述した外部環境センサ 49、内部環境センサ 53、インテグレータセンサ 46 等の計測値を繰り返しサンプリングし、メモリ 51 の所定の領域にサンプリング時刻とともに記録する機能を有する。また、第 3 プロセッサは、後述する露光時に、所定時間 Δt 1 間隔で光学系の透過率の時間変化の予測値を算出する機能を有する。第 1 プロセッ

サは、図 6 及び図 7 のフローチャートで示す制御アルゴリズムに沿って処理を行うメインのプロセッサである。

まず、ステップ 300 で装置の運転が停止されると、ステップ 302 に進んで装置の運転が停止された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んで RAM の一時格納領域に格納することにより、運転停止経過時間の計測及び停止中のチャンバ 11 内の温度、湿度、及びレンズ室内の気圧、CO₂ 濃度の計測を開始する。

次のステップ 304 では、運転開始指示が入力されるのを待つ。この運転停止期間中も前述した第 2 プロセッサによって 1 分間隔で外部環境センサ 49、内部環境センサ 53 の計測値がその時刻とともにメモリ 51 に記憶されている。そして、運転開始指示が入力されると、ステップ 306 に進んで、運転停止経過時間の計測及び停止中のチャンバ 11 内の温度、湿度、及びレンズ室内の気圧、CO₂ 濃度の計測を終了する。具体的には、運転開始指示が入力された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んで RAM の一時格納領域に格納し、ステップ 302 で取り込んだ時刻と当該ステップ 306 で取り込んだ時刻のデータ及びこれらの時刻間に対応する、外部環境センサ 49、内部環境センサ 53 の計測値をメモリ 51 内から読み出し、RAM 内の所定領域（以下、「第 1 の計測データ保存領域」と呼ぶ）に保存する。

次のステップ 308 では、照射量モニタ 59 が投影光学系 PL の直下に位置するように XY ステージ 14 を移動した後、光源 16 からのレーザ発振を開始し、シャッタ 16 f を開成して、自己洗浄（慣らし運転）を開始する。これと同時に、ステップ 110 において自己洗浄が開始された時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んで RAM の一時格納領域に格納することにより、自己洗浄時の経過時間の計測及び各種センサによる計測を開始する。ここで、自己洗浄を行うのは、光学系の透過率変化は光学系に対する露光量の照射量が大きくなるほど小さくなるので、自己洗浄を行なうことにより露光時における

光学系の透過率変化を小さくできるからである。

次のステップ 3 1 2 では、自己洗浄が終了するのを待つ。この自己洗浄終了の判断は、次のようにして行われる。すなわち、自己洗浄中は、インテグレータセンサ 4 6 の出力と照射量モニタ 5 9 の出力との比の変動量を計測し、該変動量がなくなった時点又は変動量が所定レベルに達した時点で自己洗浄終了と判断する。また、この自己洗浄期間中、前述した第 2 プロセッサによって 1 分間隔で、インテグレータセンサ 4 6、外部環境センサ 4 9、内部環境センサ 5 3 の計測値がその時刻とともにメモリ 5 1 に記憶される。

上記のようにして自己洗浄終了と判断すると、ステップ 3 1 4 に進んでシャッタ 1 6 f を閉成するとともに自己洗浄の終了を不図示のディスプレイに表示した後、ステップ 3 1 6 に進んで自己洗浄経過時間の計測及び自己洗浄中の各種センサによる計測を終了する。具体的には、シャッタ 1 6 f を閉成した時点の不図示のタイマーによる計測時刻を取り込んで R A M の一時格納領域に格納し、ステップ 3 1 0 で取り込んだ時刻と当該ステップ 3 1 6 で取り込んだ時刻のデータ及びこれらの時刻間に対応する、インテグレータセンサ 4 6、外部環境センサ 4 9、内部環境センサ 5 3 の計測値をメモリ 5 1 内から読み出し、R A M 内の所定領域（以下「第 2 の計測データ保存領域」と呼ぶ）に保存する。

次のステップ 3 1 8 では露光条件が入力されるを待つ。そして、オペレータによりコンソール等の入出力装置 6 2（図 1 参照）から照明条件（投影光学系の開口数（N. A.）、コヒーレンスファクタ σ 値やレチクルパターンの種類（コンタクトホール、ラインアンドスペース等）、レチクル透過率、レチクルの種類（位相差レチクル、ハーフトーンレチクル等）、及び最小線幅又は露光量許容誤差などを含む露光条件が入力されると、ステップ 3 2 0 に進み、投影光学系 P L の不図示の開口絞りの設定、照明系開口絞り板 2 4 の開口の選択設定、エネルギー粗調器 2 0 の減光フィルタの選択、レジスト感度に応じた目標積算露光量の設定等を行い、更にレチクルロード、レチクルアライメント、ベースライン

計測等の一連の準備作業を行った後、ステップ 3 2 2 の露光処理のサブルーチンへ移行する。ここで、レチクル透過率は、予め次のようにして計測されている。すなわち、光源 1 6 をパルス発光させるとともにシャッタ 1 6 f を開成して、露光光 E L によりレチクル R を照射し、そのときのインテグレータセンサ 4 6 と、反射光モニタ 4 7 との出力を取り込み、両者の比に所定の相関係数を乗じ、これを 1 から減じて 1 0 0 倍することによってレチクル R の透過率 (%) を求めている。このとき、X Y ステージ 1 4 は、投影光学系 P L の直下と離れた所定のローディングポジションにあり、投影光学系 P L の直下に存在しないので、投影光学系 P L より下方側からの反射光は、無視できる程度に小さいものとする。

ステップ 3 2 2 のサブルーチンでは、図 7 に示されるように、ステップ 3 2 8 において、R A M 内の第 1、第 2 の計測データ保存領域のデータとその時の露光条件とに基づいて光学系（リレーレンズ 2 8 A、2 8 B、コンデンサレンズ 3 2、投影光学系 P L から成る光学系）の透過率時間変化予測関数を決定し、この決定した予測関数を第 3 プロセッサに与える。上記の予測関数の決定は、具体的には、R A M 内の第 1、第 2 の計測データ保存領域のデータを用いて光学系に対する露光光の照射履歴を求め、この照射履歴と装置運転停止中及び自己洗浄中の各種センサの計測値とに基づいて、例えば次式 (1) のパラメータ a を決定するとともに、ステップ 3 1 8 で入力された露光条件に基づいて次式 (1) のパラメータ b_i ($i = 1, 2, \dots, k$) を決定することにより行われる。

$$T = a \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^k b_i t \right) \quad \dots \dots \quad (1)$$

但し、T：光学系透過率、すなわち、光源から射出される露光光の照度と光学系を通過した基板面上の露光光の照度との比

a：変化率を表すパラメータ

b_i : 減光率、コヒーレンスファクタ σ 値等の照明条件を含む各露光条件に依存するパラメータ

次のステップ 330 では、後述するウエハ露光処理枚数を示す第 1 カウンタのカウント値 m を「1」、透過率測定間隔に対応するウエハ枚数を示す第 2 カウンタのカウント値 n を「0」に初期設定する。ここでは、透過率測定は 1 ロットすなわち 25 枚のウエハの露光終了毎に行われる、すなわち後述する $N=25$ に設定されているものとする。

次のステップ 332 では、光学系の透過率測定を次のようにして行う。すなわち、照射量モニタ 59 が投影光学系 PL の直下に位置するように、XY ステージ 14 をウエハステージ駆動部 56 を介して駆動し、シャッタ 16 f を開成してこのときのインテグレータセンサ 46 の出力と、照射量モニタ 59 の出力との比を 100 倍し且つ所定の係数を乗じることによって行う。なお、照射量モニタ 59 に代えてムラセンサを用いる場合には、ムラセンサを投影光学系 PL の光軸上に位置決めして透過率測定を行う必要がある。

次のステップ 334 では、透過率の測定結果を第 3 プロセッサに与えるとともに透過率時間変化の予測計算の開始を指示する。これにより、第 3 プロセッサでは、その与えられた透過率を初期値として、所定時間 Δt_1 毎の透過率時間変化の予測計算を開始する。その計算結果は、第 3 プロセッサによってメモリ 51 内の所定領域（便宜上、「透過率データ格納領域」と呼ぶ）に順次更新しながら格納されるものとする。

次のステップ 336 では、不図示のウエハ搬送系にウエハ W の交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及び XY ステージ上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換（ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード）が行われ、次のステップ 338 でいわゆるサーチアライメント、ファイナライメント（例えば前述した EGA 等）等の一連のアライメント工程の処理が行われる。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置

と同様に行われる。

次のステップ 3 4 0 では、その時点における最新の透過率の予測計算値をメモリ 5 1 内の透過率データ格納領域から読み出して、その透過率に基づいて露光量制御目標値を更新する。そして、次のステップ 3 4 2 に進んで、上記ステップ 3 3 8 のアライメント結果及び所定のショットマップデータに基づいて、ウエハ W 上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハ W を移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハ W 上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、透過率に応じた露光量制御目標値とインテグレートセンサ 4 6 の出力とに基づいて、前述した如くして露光量制御が行われる。

このようにして、第 m 枚目（ここでは、第 1 枚目）のウエハ W に対する露光が終了すると、ステップ 3 4 4 に進んで、前述した第 1 カウンタのカウント値 m 、第 2 カウンタのカウント値 n をそれぞれ 1 インクリメント（ $n \leftarrow n + 1$ 、 $m \leftarrow m + 1$ ）する。

次のステップ 3 4 6 では、カウント値 m が予定処理枚数 M を超えたか否かを判断する。第 1 枚目のウエハ W の露光が終了した時点では、 $m = 2$ であるから当然にこの判断は否定され、ステップ 3 4 8 に進んでカウント値 n が N 、すなわち 2 5 であるか否かを判断する。第 1 枚目の露光が終了した時点では、 $n = 1$ であるからこの判断は否定され、ステップ 3 3 6 に戻って以後上記処理・判断を繰り返す。

そして、第 2 5 枚目のウエハの露光が終了すると、 $n = 2 5 = N$ となって、ステップ 3 4 8 の判断が肯定され、ステップ 3 5 0 に進んで第 2 カウンタをリセット（ $n \leftarrow 0$ ）した後、ステップ 3 3 2 に戻り、前述と同様にして光学系の透過率測定を行い、その測定結果を第 3 プロセッサに初期値として与えるとともに透過率時間変化の予測計算の開始を指示する。このように、本実施形態では、ウエハ 1 ロットの露光終了毎に計測された透過率の計測データを第 3 プロ

セッサに初期値として与えることにより、計算による透過率予測結果のずれを補正する。

その後、上記の処理・判断を繰り返して、ウエハ25枚露光する度毎に、光学系の透過率測定を繰り返し行いつつ、M枚目のウエハWに対する露光が終了すると、ステップ346の判断が肯定されて、図6のメインルーチンのステップ300にリターンする。このステップ300における装置の運転停止とは、光源16をオフするとともに、第3プロセッサに計測終了の指示を与えることを意味し、第3プロセッサではこの指示により透過率時間変化の予測計算を終了する。

これまでの説明から明らかなように、本第3の実施形態では、主制御装置50の機能によって、露光量設定装置、露光量制御系及び演算装置が実現されている。

以上説明したように、本第3の実施形態によると、光学系（リレーレンズ28A、28B、コンデンサレンズ32、投影光学系PLから成る光学系）に対する露光光の照射履歴、現実の露光条件に即した光学系の透過率の時間変化予測関数が決定され、この決定された透過率の時間変化予測関数に基づいて、露光量が予測制御されるので、予測制御により像面照度（ウエハ面照度）を常にほぼ所望の値に設定してレチクルRのパターンを光学系を用いてウエハW上に転写できる。従って、光学系の透過率変化の影響を受けることなく、高精度な露光を実現することができる。

また、1ロットの露光終了毎に、透過率の測定を実行しているので、毎ウエハの露光前に透過率測定を行って透過率の時間変化特性を決定する場合等に比べて、スループットを高く維持することができる。さらに、透過率の測定の都度、透過率時間変化予測結果を補正しているので、完全に透過率を計算で求める場合と異なり、透過率測定の際に生じた露光量予測値の誤差が1ロット毎に補正され一層正確な露光量制御が可能になっている。

なお、上記第 3 の実施形態では、露光量の制御方法として、走査露光時に、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された目標積算露光量をウエハ W に与えるため、光源 16 の発振周波数（発光タイミング）、及び発光パワー等を制御したり、あるいは、エネルギー粗調器 20 による減光率を調整する場合について説明したが、この場合も前述した第 1、第 2 の実施形態と同様に、走査露光の際に、光源 16 のパワーを一定に保ったまま、かつレチクルステージ R S T と X Y ステージ 14 との速度比を保ったまま、その走査速度を変化させたり、いわゆるスリット幅を変化させたり、あるいは走査速度の調整とスリット幅の調整とを組み合わせ、露光量の調整を行っても良い。

いずれにしても、投影光学系 P L 等の透過率変化によって、ウエハ面の照度が影響を受けるので、この影響を相殺して常に目標積算露光量がウエハ W に与えられるように、露光量制御目標値（パルス発振周波数、パルスエネルギー、減光率、走査速度、スリット幅等の制御目標値）を更新すれば良い。

なお、上記第 3 の実施形態では、主制御装置 50 が第 1 プロセッサ、第 2 プロセッサ及び第 3 プロセッサとを含んで構成される場合について説明したが、主制御装置を構成するマイクロコンピュータ又はワークステーションによるマルチタスク処理、あるいは時分割処理にて、上記第 1 ～ 第 3 プロセッサの機能を、その管理下にあるステージコントローラ、露光コントローラ、レンズコントローラ等を用いて実現するようにしても良いことは勿論である。

ところで、上記第 3 の実施形態では、1 ロット毎に光学系の透過率測定が繰り返し行われる場合について説明したが、連続して露光が行われる場合には、投影光学系 P L 等の透過率変化の態様は一様ではないため、この透過率の変化の態様に応じて光学系透過率測定の間隔を、前述した第 2 の実施形態と同様に自動的に変更するようにしても良い。

また、上記実施形態では、1 ロット 25 枚としたが、50 枚、100 枚としても良い。

なお、上記実施形態では、露光光の照射履歴と設定された露光条件に応じて光学系の透過率の時間変化予測関数を決定したが、自己洗浄時の露光条件と、露光開始後の露光条件が同じ条件であれば、露光条件を考慮せず、照射履歴に応じて時間変化予測関数を決定しても良い。

なお、上記各実施形態では、透過率の測定をウエハ所定枚数の露光終了毎に行う場合について説明したが、これに限らず、透過率の測定を所定数のショットに対する露光終了毎に設定しても良いことは勿論である。

以上のように、上記各実施形態の露光装置は、本願の請求の範囲 (claims) に挙げられた各構成要素 (elements) を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることは言うまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、上記各実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されることはなく、ステッパ等の静止露光型露光装置にも好適に適用できるものである。

なお、上記各実施形態において、前述の上記各実施形態では本発明が露光用照明光ELとして、ArFエキシマレーザ光 (波長193nm)、KrFエキシ

マレーザ光（波長 248 nm）、あるいは F_2 エキシマレーザ光（波長 157 nm）等のエキシマレーザ光を用いる露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、波長 146 nm の Kr_2 レーザ光、波長 126 nm の Ar_2 レーザ光等の真空紫外光を用いる露光装置にも本発明は好適に適用できる。

また、DFB 半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドーピングされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザの発振波長を 1.51～1.59 μm の範囲内とすると、発生波長が 189～199 nm の範囲内である 8 倍高調波、又は発生波長が 151～159 nm の範囲内である 10 倍高調波が出力される。特に発振波長を 1.544～1.553 μm の範囲内とすると、発生波長が 193～194 nm の範囲内の 8 倍高調波、即ち ArF エキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を 1.57～1.58 μm の範囲内とすると、発生波長が 157～158 nm の範囲内の 10 倍高調波、即ち F_2 レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を 1.03～1.12 μm の範囲内とすると、発生波長が 147～160 nm の範囲内である 7 倍高調波が出力され、特に発振波長を 1.099～1.106 μm の範囲内とすると、発生波長が 157～158 μm の範囲内の 7 倍高調波、即ち F_2 レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイットリビウム・ドーピング・ファイバーレーザを用いることができる。

なお、上記第 1、第 2 の実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系として屈折光学系に限らず、反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタディオプトリック

系)を採用しても良い。波長200nm程度以下の真空紫外光(VUV光)を用いる露光装置では、投影光学系として反射屈折系を用いることも考えられる。この反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平8-171054号公報及びこれに対応する米国特許第5,668,672号、並びに特開平10-20195号公報及びこれに対応する米国特許第5,835,275号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平8-334695号公報及びこれに対応する米国特許第5,689,377号、並びに特開平10-3039号公報及びこれに対応する米国特許出願第873,605号(出願日:1997年6月12日)などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、米国特許第5,031,976号、第5,488,229号、及び第5,717,518号に開示される、複数の屈折光学素子と2枚のミラー(凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡)とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通過して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通過してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

なお、光学系の透過率変動とは、インテグレータセンサ46と、照度センサ59との間に配置された各光学素子(レンズ28A,28B,32、投影光学系PL、ミラーMの反射面)を経由してきた露光光の光量の変動を意味する。

従って、本発明における光学系の透過率には、例えば、図 1、図 5 においては、ミラー M の反射率の変動も含まれている。

また、投影光学系として、反射系又は反射屈折系を採用した場合、本発明における光学系の透過率には、反射ミラーの反射率も含まれることは勿論である。

なお、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCD など）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

《デバイス製造方法》

次に、上述したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図 8 には、デバイス（IC や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図 8 に示されるように、まず、ステップ 401（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ 402（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ 403（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ 404（ウエハ処理ステップ）において、ステップ 401～ステップ 403 で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ 405（デバイス組立ステップ）において、ステップ 404 で処理されたウエハを用いてデバイス組立を行う。このステップ 405 には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に

応じて含まれる。

最後に、ステップ４０６（検査ステップ）において、ステップ４０５で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図９には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ４０４の詳細なフロー例が示されている。図１６において、ステップ４１１（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ４１２（ＣＶＤステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ４１３（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ４１４（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ４１１～ステップ４１４それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ４１５（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ４１６（露光ステップ）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ４１７（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ４１８（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ４１９（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ４１６）において上記各実施形態の露光装置及びその露光方法が用いられる

ので、露光量制御制御精度の向上による線幅制御性の向上が可能であり、これにより重ね合せ精度の向上を含む露光精度の向上が可能となり、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る露光装置及び露光方法は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く複数層重ねて形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

請 求 の 範 囲

1. 光源からの露光光で照明されたパターンを基板上に転写する光学系を備える露光装置で行われる露光方法であって、

前記光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する第1工程と；

前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御しつつ前記パターンを前記光学系を介して前記基板上に転写する第2工程とを含む露光方法。

2. 請求項1に記載の露光方法において、

前記第1工程における露光量制御目標値の設定の基準となる前記光学系の透過率は、所定の測定間隔で実際に測定されたものであることを特徴とする露光方法。

3. 請求項2に記載の露光方法において、

前記測定間隔は、露光条件に応じて設定されたものであることを特徴とする露光方法。

4. 請求項3に記載の露光方法において、

前記露光条件には、マスクの透過率が含まれることを特徴とする露光方法。

5. 請求項3に記載の露光方法において、

前記露光条件には、最小線幅及び露光量許容誤差のいずれかが含まれることを特徴とする露光量制御方法。

6. 請求項2に記載の露光方法において、

前記測定間隔は、直前の透過率測定で得られた透過率とその前の透過率測定で得られた透過率との変動量に応じて変更されることを特徴とする露光方法。

7. 請求項 1 に記載の露光方法において、

前記第 1 工程は、前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する予測関数決定工程と、

前記決定した透過率の時間変化予測関数に基づいて露光量制御目標値を設定する工程とを含むことを特徴とする露光方法。

8. 請求項 7 に記載の露光方法において、

前記時間変化関数は、光学系透過率を T とし、その変化率を表すパラメータを a とし、照明条件を含む各露光条件に依存するパラメータを b_i として、

$$T = a \cdot \exp \left(\sum_{i=1}^k b_i t \right)$$

で表される関数であることを特徴とする露光方法。

9. 請求項 7 に記載の露光方法において、

前記予測関数決定工程に先立って、前回の装置運転停止中の時間、その後の自己洗浄時の前記光学系に対する露光光の照射時間、露光光強度及び積算照射量を計測する工程を更に含むことを特徴とする露光方法。

10. 請求項 7 に記載の露光方法において、

前記光学系の環境条件を所定時間間隔で測定し、前記透過率の時間変化予測関数の決定に際してこれらを考慮することを特徴とする露光方法。

11. 請求項 7 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光方法において、

前記光学系の透過率を所定間隔で測定する工程を更に含み、
前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正することを特徴とする露光方法。

1 2 請求項 1 1 に記載の露光方法において、

前記透過率の測定間隔は、要求される露光精度との関係に応じて決定することを特徴とする露光方法。

1 3 請求項 1 1 に記載の露光方法において、

前記透過率の測定間隔は、前記光学系透過率の変化率が大きい期間では間隔を短く、その反対の場合には、長くすることを特徴とする露光方法。

1 4. 光源からの露光光で照明されたパターンを光学系を用いて基板上に転写する露光装置であって、

前記光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する露光量設定装置と；

前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する露光量制系とを備える露光装置。

1 5. 請求項 1 4 に記載の露光装置において、

前記光学系の透過率を測定する透過率測定装置を更に備え、

前記露光量設定装置は、前記透過率測定装置で測定された透過率に応じて前記露光量制御目標値を設定することを特徴とする露光装置。

1 6 請求項 1 5 に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置は、所定の測定間隔で前記透過率測定を行うことを特徴

とする露光装置。

17. 請求項16に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置の測定間隔を露光条件に応じて設定する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

18. 請求項17に記載の露光装置において、

前記パターンが形成されたマスクの情報を読み取る情報読み取り装置を更に備え、

前記制御装置は、前記読み取られた前記マスクの情報に基づいて前記透過率測定装置の測定間隔を自動的に設定することを特徴とする露光装置。

19. 請求項16に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置で直前に測定された透過率とその前に測定された透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

20. 請求項19に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置による透過率の連続2回の測定は、露光開始に先立って行われることを特徴とする露光装置。

21. 請求項19に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置による透過率の連続2回の測定は、露光開始後に行われることを特徴とする露光装置。

22. 請求項14に記載の露光装置において、

前記パターンに照射される前記露光光の光量を検出する第１の光センサを更に備え、

前記露光量制御系は、前記パターンの前記基板への転写中、露光量制御目標値と前記第１の光センサの出力とに基づいて露光量を制御することを特徴とする露光装置。

２３． 請求項１５に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置は、前記パターンに照射される前記露光光の光量を検出する第１の光センサと、前記基板とほぼ同一面上に設けられた第２の光センサと、前記第２の光センサを用いて露光条件に応じたタイミングで前記光学系を通過した前記露光光の光量を検出し、該光量と前記第１の光センサの出力とに基づいて前記光学系の透過率を求める制御装置とを含むことを特徴とする露光装置。

２４． 請求項２３に記載の露光装置において、

前記露光量制御系は、前記パターンの前記基板への転写中、前記露光量制御目標値と前記第１の光センサの出力とに基づいて露光量を制御することを特徴とする露光装置。

２５． 請求項２３に記載の露光装置において、

前記制御装置は、前記パターンが形成されたマスクの透過率に応じたタイミングで前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行することを特徴とする露光装置。

２６． 請求項２３に記載の露光装置において、

前記制御装置は、最小線幅及び露光量許容誤差のいずれかを考慮したタイミ

ングで前記光学系を通過した前記露光光の光量検出を実行することを特徴とする露光装置。

27. 請求項14に記載の露光装置において、

前記光学系に対する露光光の照射履歴に応じて、前記光学系の透過率の時間変化予測関数を決定する演算装置を更に備え、

前記露光量設定装置は、前記演算装置で決定された透過率時間変化予測関数に基づいて、前記露光量制御目標値を設定することを特徴とする露光装置。

28. 請求項27に記載の露光装置において、

前記光学系の透過率を所定間隔で測定する透過率測定装置と；

前記透過率測定の都度、前記透過率時間変化予測関数を補正する補正装置とを更に備えることを特徴とする露光装置。

29. 請求項28に記載の露光装置において、

前記透過率測定装置で直前に測定された透過率とその前に測定された透過率との変動量に応じて前記透過率測定装置における透過率の測定間隔を設定する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

30. 請求項14に記載の露光装置において、

前記光学系は、前記パターンが形成されたマスクを前記露光光により照明する照明光学系と、前記マスクから出射された前記露光光を前記基板に投射する投影光学系とを含み、

前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージと；

前記基板を保持する基板ステージとを更に備えることを特徴とする露光装置。

31. 請求項30に記載の露光装置において、

前記マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸に直交する面内で一次元方向に同期移動する駆動装置とを更に備えることを特徴とする露光装置。

32. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクに露光光を照射する照明光学系を提供する工程と；

前記マスクから出射された前記露光光を前記基板上に投射する投影光学系を提供する工程と；

前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；

前記投影光学系の透過率に応じて露光量制御目標値を設定する露光量設定装置を提供する工程と；

前記設定された露光量制御目標値に基づいて露光量を制御する露光量制系を提供する工程とを含む露光装置の製造方法。

33. 請求項32に記載の露光装置の製造方法において、

前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；

前記マスクステージと前記基板ステージとを前記投影光学系の光軸に直交する面内で一次元方向に同期移動する駆動装置を提供する工程とを更に含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

34. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法において、

前記リソグラフィ工程では、請求項1～10のいずれか一項に記載の露光方法を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

35. 請求項14～31のいずれか一項に記載の露光装置を用いて製造され

るデバイス。

Fig. 1

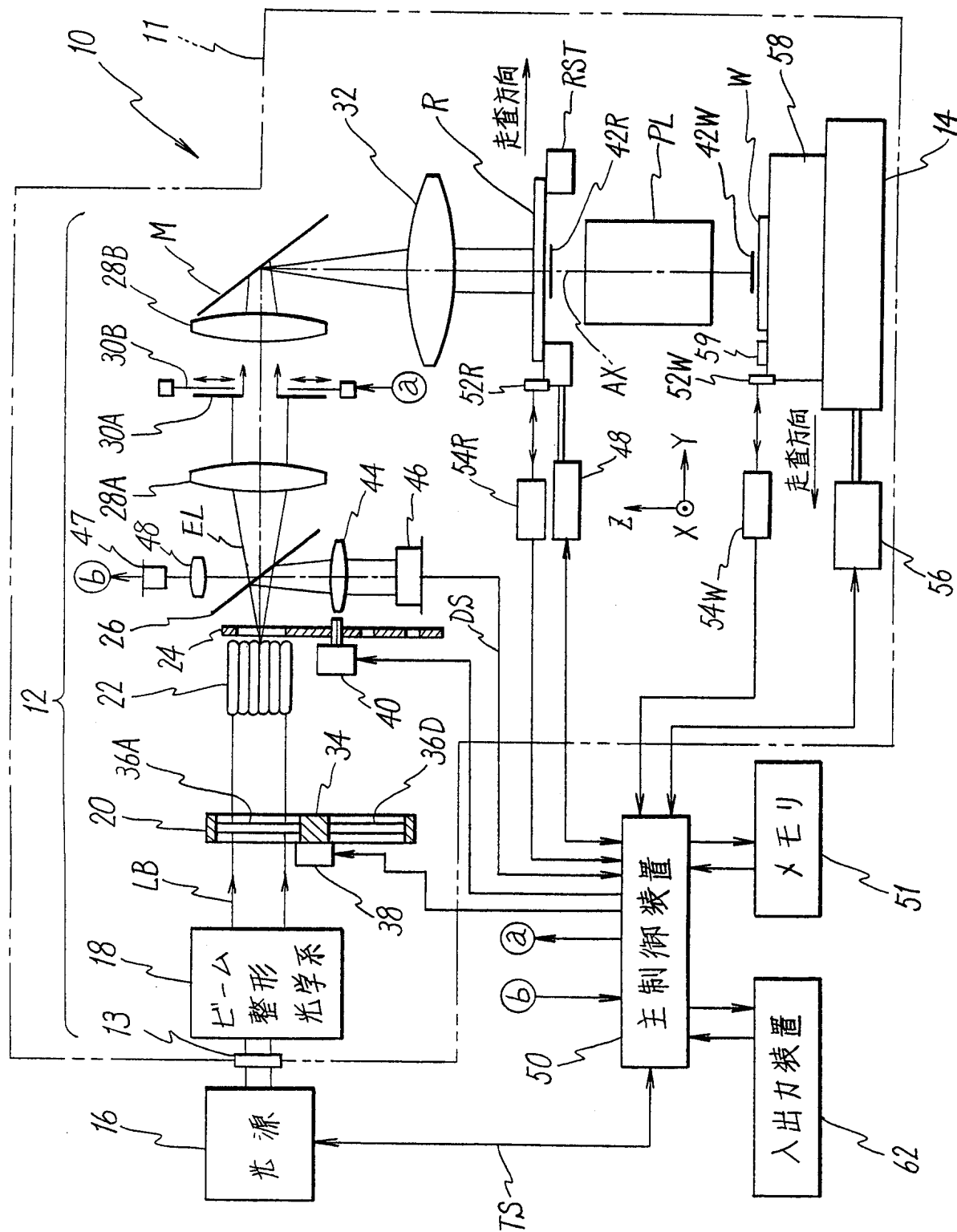
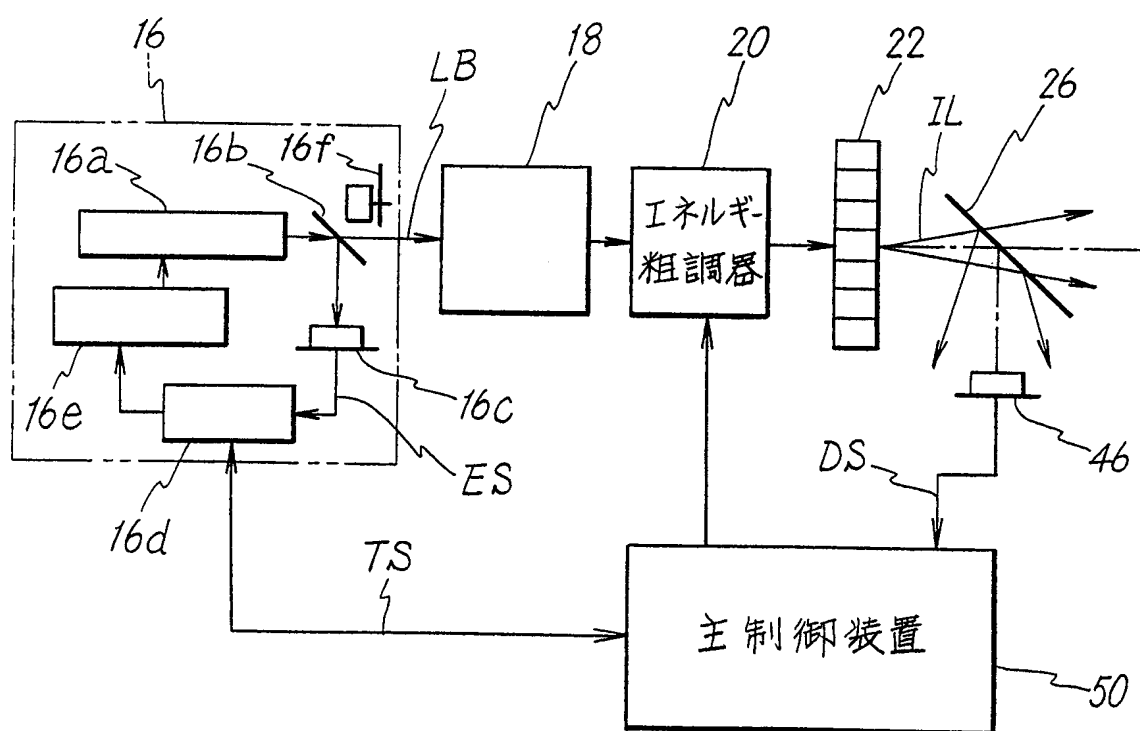
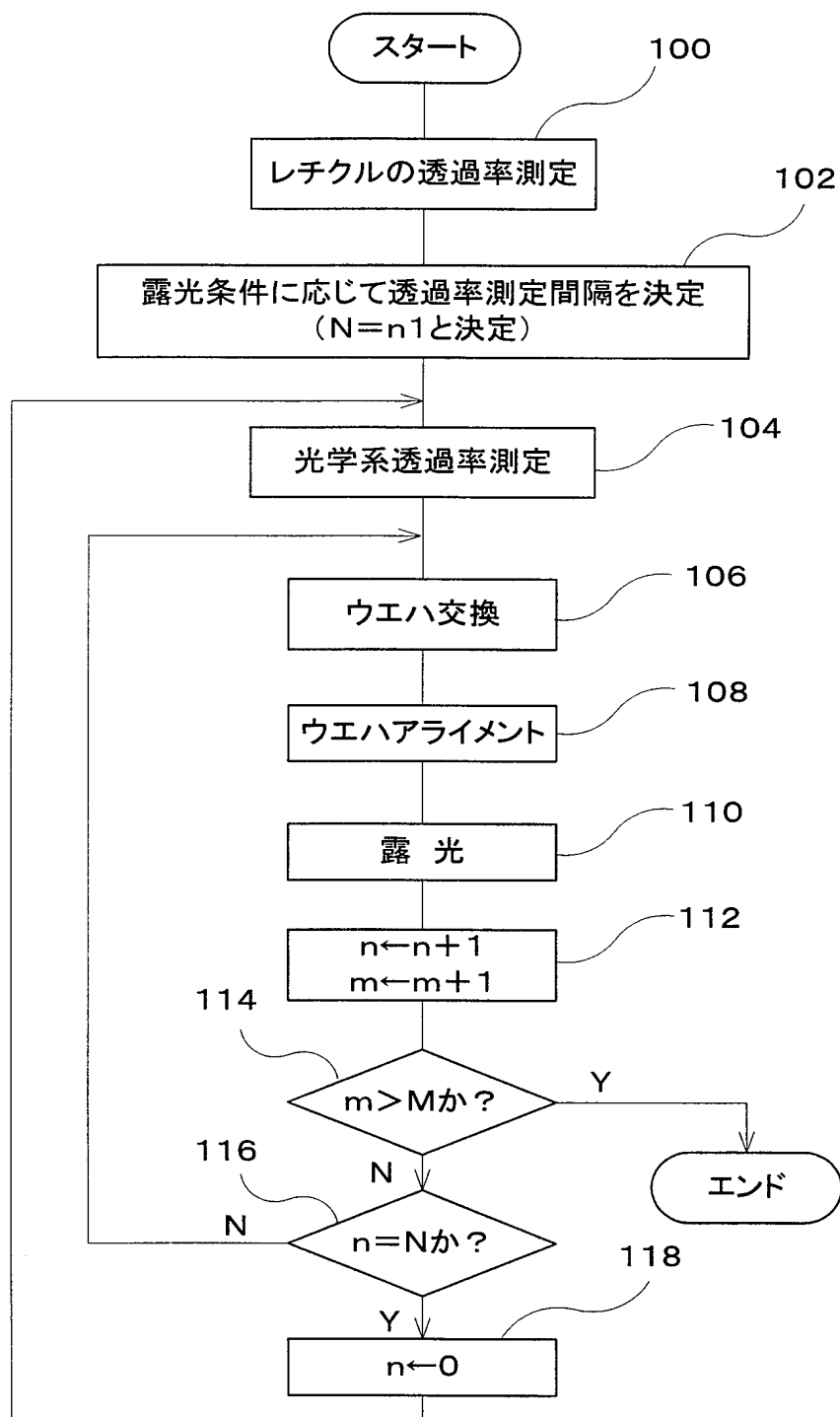


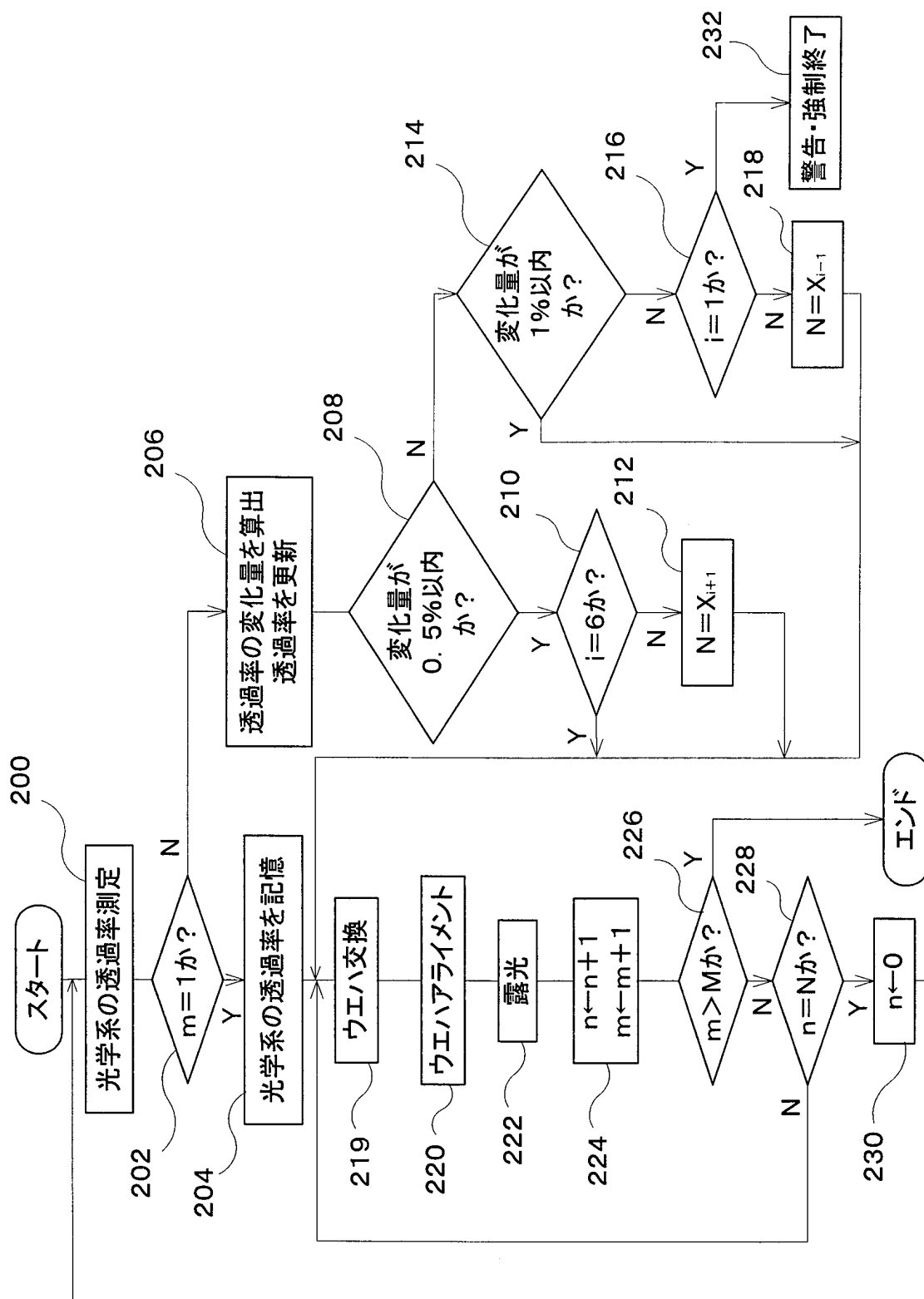
Fig. 2



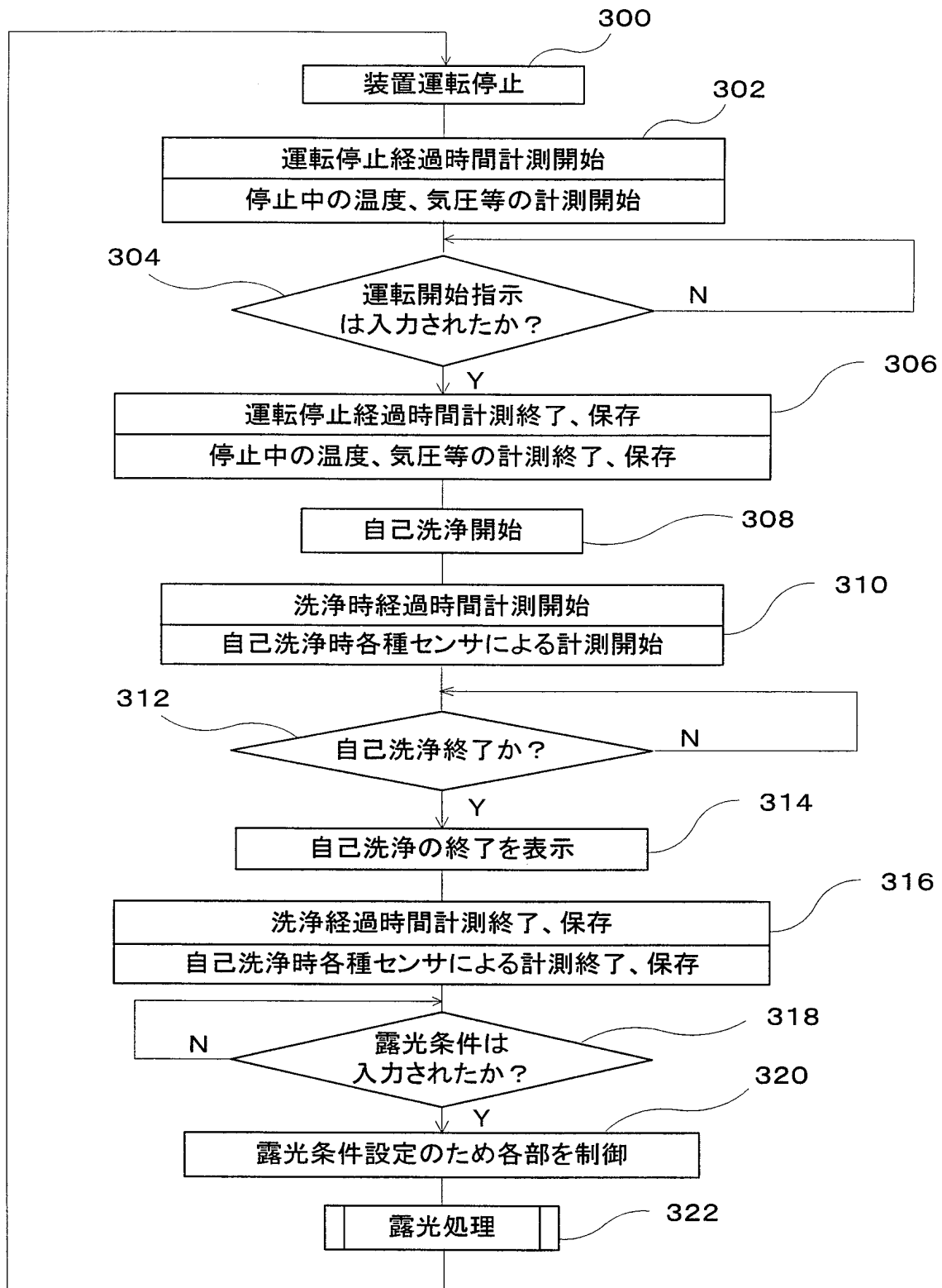
F i g . 3



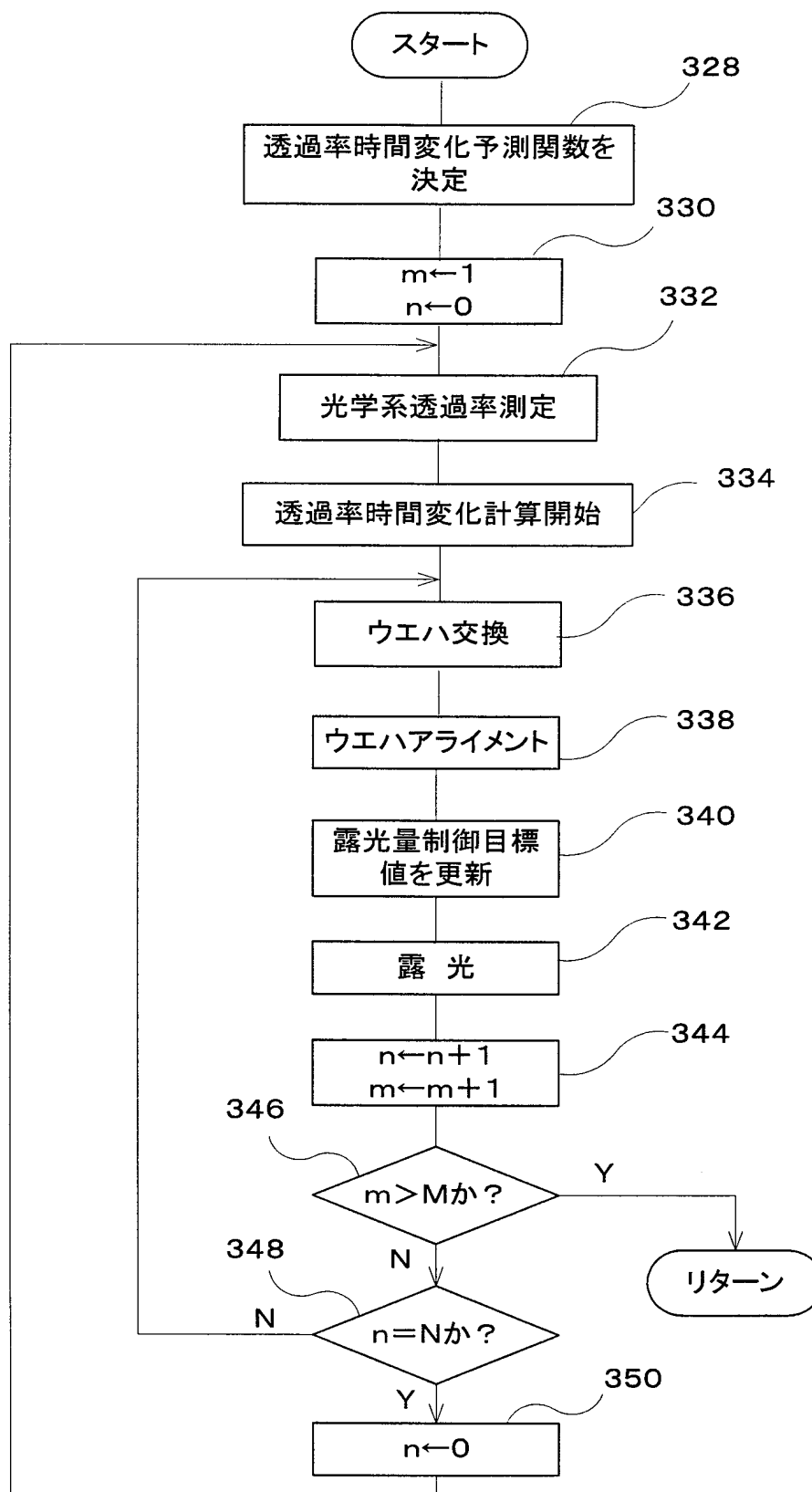
F i g . 4



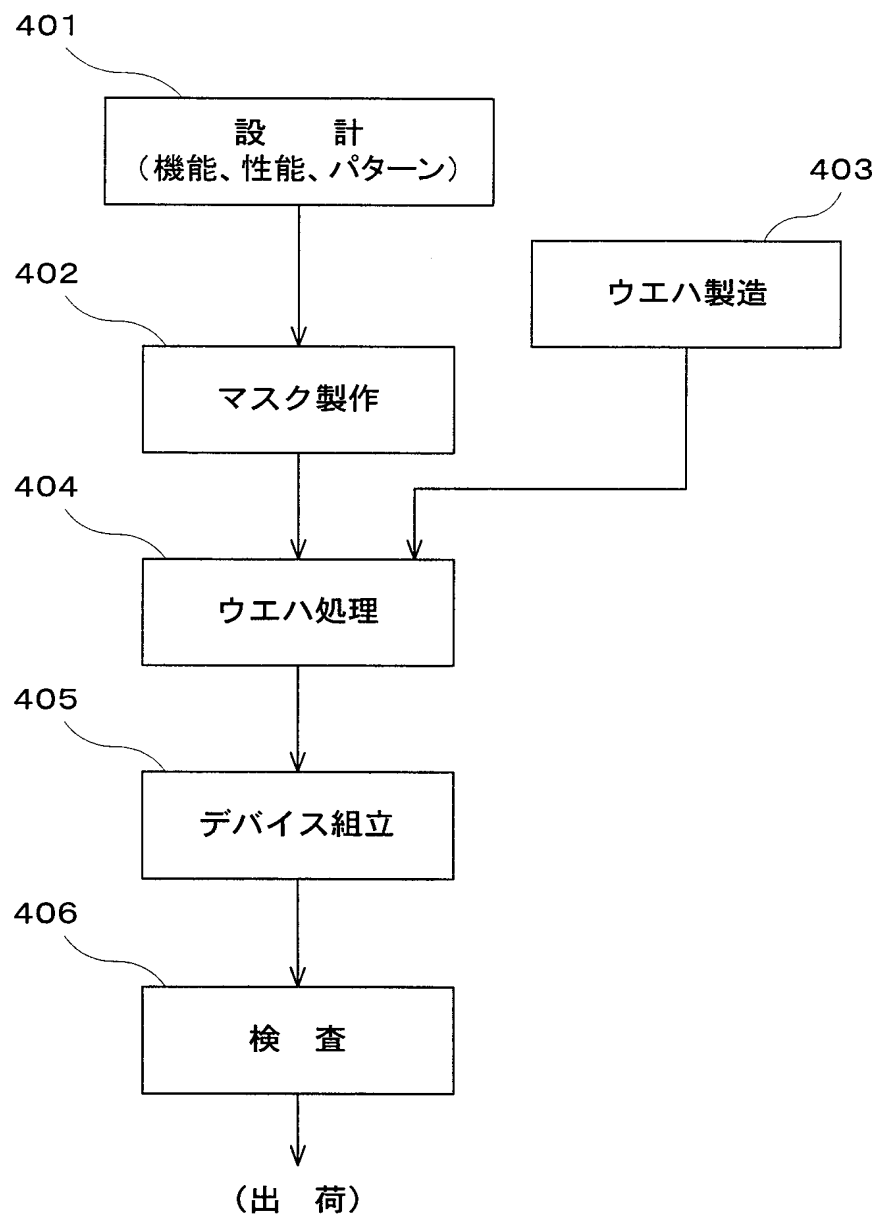
F i g . 6



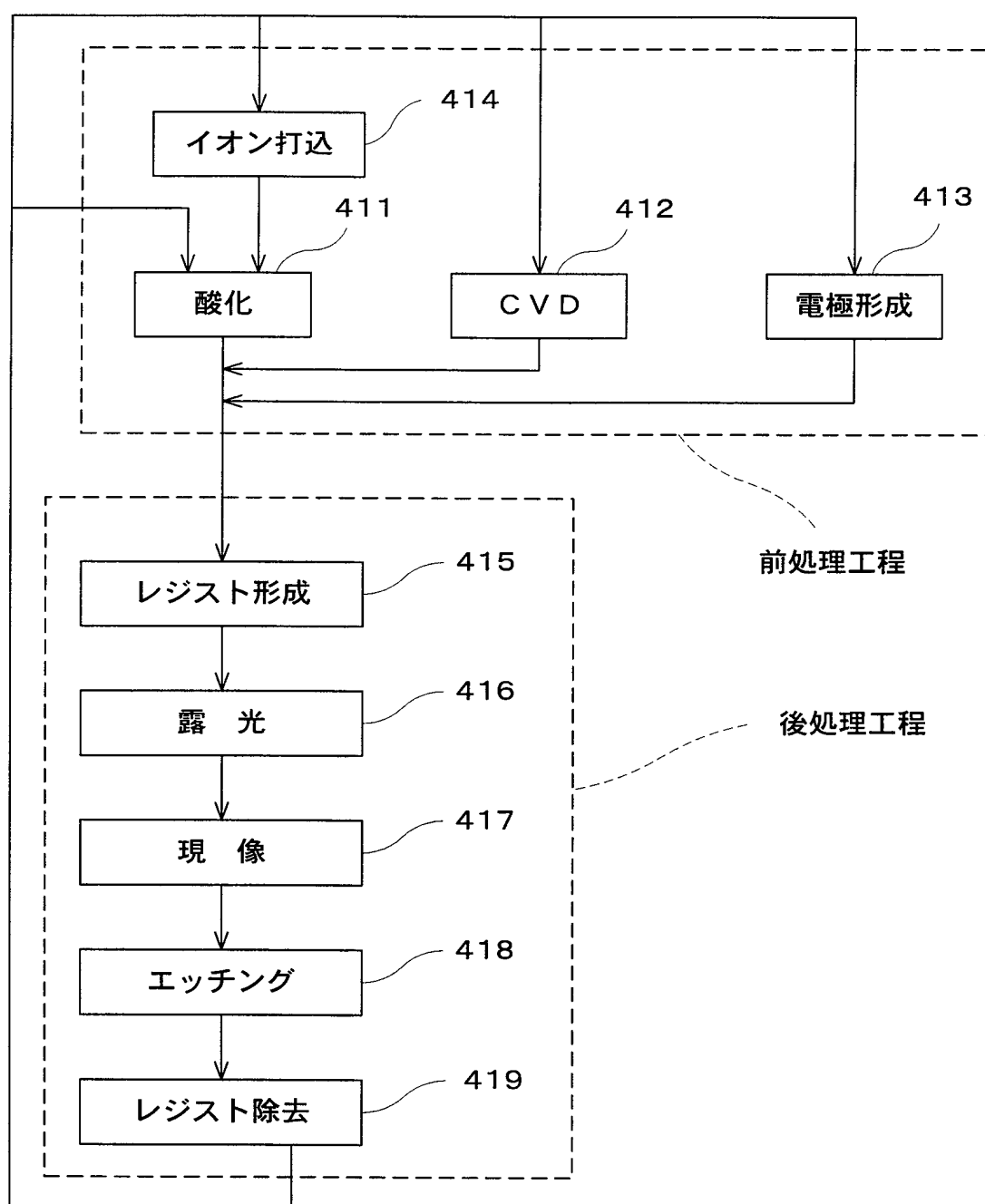
F i g . 7



F i g . 8



F i g . 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01802

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁶ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 9-320932, A (Nikon Corp.), 12 December, 1997 (12. 12. 97) (Family: none)	1-35
EA	JP, 10-116766, A (Canon Inc.), 6 May, 1998 (06. 05. 98) & NL, 1007253, C2	1-35

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
1 July, 1999 (01. 07. 99)Date of mailing of the international search report
13 July, 1999 (13. 07. 99)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP99/01802

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁶ H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁶ H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-1999年
日本国登録実用新案公報 1994-1999年
日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 9-320932, A (株式会社ニコン), 12. 12月. 1997 (12. 12. 97) (ファミリーなし)	1-35
EA	JP, 10-116766, A (キャノン株式会社), 6. 5月. 1998 (06. 05. 98) &NL, 1007253, C2	1-35

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 07. 99

国際調査報告の発送日

13.07.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤田 年彦 印

2M 9022

電話番号 03-3581-1101 内線 3274